

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DEL DRENAJE SUBTERRÁNEO DEL MACIZO DEL MONCAYO EN LAS TIERRAS DE AGREDA (SORIA).

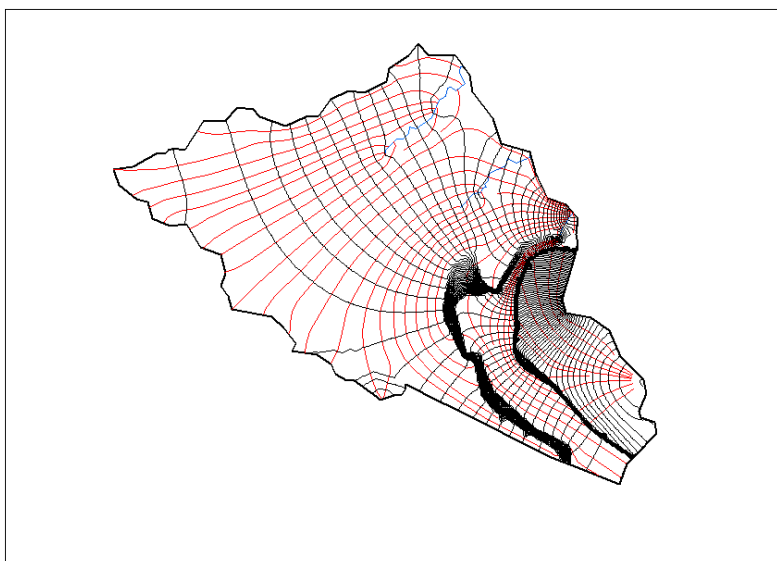
AUTOR

ALEJANDRO GARCÍA GIL

DIRECTORES

JOSÉ ÁNGEL SÁNCHEZ NAVARRO

ANTONIO PÉREZ GARCÍA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA
2011/2012**

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1.INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	4
2.METODOLOGÍA.....	6
2.1 ESTUDIO Y ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	
2.2 MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE LOS ACUÍFEROS	
3.GEOLOGÍA.....	8
3.1 SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL	
3.2 LITOESTRATIGRAFÍA	
3.3 ESTRUCTURA	
4.HIDROGEOLOGÍA.....	22
4.1 ANTECEDENTES	
4.2 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	
4.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS MATERIALES	
4.4 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA	
5. MODELO NUMÉRICO	27
5.1 METODOLOGÍA	
• EL PROCESO DE MODELACIÓN	
• VISUAL TRANSIN: EL PROBLEMA INVERSO Y LA CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA	
• PARAMETRIZACIÓN	
• DATOS PARA LA CALIBRACIÓN. TRATAMIENTO DE LOS NIVELES MEDIDOS	
5.2 LÍMITES DEL MODELO Y CONDICIONES DE CONTORNO	
DOMINIO ESPACIAL DEL MODELO	
• NIVEL FIJO	
• GOTEO	
• CAUDAL FIJO	
5.3 PARÁMETROS ZONALES	
• ZONAS DE TRANSMISIVIDAD Y ALMACENAMIENTO	
• TRATAMIENTO DE LA TRANSMISIVIDAD / PERMEABILIDAD	
• TRATAMIENTO DE LA RECARGA	
5.4 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL	
5.5 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN	
• TRANSMISIVIDAD	
5.6 BALANCE DE MASAS	
5.7 NIVELES PIEZOMÉTRICOS CALCULADOS	
6.HIDROGEOQUÍMICA.....	44
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	48
8. AGRADECIMIENTOS.....	53
9. BIBLIOGRAFÍA.....	54
10. ANEXO	58

RESUMEN

Se ha realizado una actualización hidrogeológica de los acuíferos carbonatados de las Tierras de Agreda (Soria) y se ha establecido un modelo conceptual de relación de estos acuíferos con el macizo del Moncayo. El modelo conceptual ha sido corroborado por un modelo matemático de flujo subterráneo (código TRANSIN) que ha identificado los sistemas de flujo, los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos (método inverso) y ha cuantificado un balance hídrico consistente de las recargas y descargas medidas en los principales manantiales.

El modelo matemático de flujo ha permitido confirmar la procedencia de las aguas de los manantiales de Vozmediano y de Agreda del macizo del Moncayo; mientras que las descargas de agua en la cuenca del río Añamaza, tienen preferentemente su origen dentro de su misma cuenca.

El programa TRANSIN resulta especialmente útil para simular diferentes escenarios temporales que podrían ser de interés para justificar registros sedimentarios observados en cauces y manantiales de la zona.

ABSTRACT

The aim of this work was to make an hydrological update of the carbonate aquifers of the Agreda's lands (Soria) and to establish a conceptual model of the relation of this aquifers with the Moncayo's massif. The conceptual model has been corroborated with a mathematical model of subterranean groundwater flow (TRANSIN code) which identified the flow systems, the hydrogeological parameters of the aquifers (inverse method) and also measured the hydric balance that consisted of the recharges and discharges measured in the main springs.

The flow mathematical model has allowed to confirm that the origin of the groundwaters of Vozmediano springs and Agreda is the Moncayo massif; whereas the groundwater discharge in the river Añamaza basin has its origin in the basin itself. The TRANSIN software is specially useful to simulate different temporal settings which could be interesting to justify the sedimentary registries observed in the river banks and springs around the area.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El Macizo del Moncayo es una zona topográficamente elevada y de fuerte precipitación que en relación a las aguas actúa como un “*water tower*”; de hecho es el origen de los ríos Huecha, Queiles, Isuela y Araviana. Es bien conocido el drenaje subterráneo de este macizo en su vertiente Norte hacia tierras aragonesas (San Román, 1990), por el contrario no se ha reconocido y evaluado adecuadamente las descargas de agua subterránea en su vertiente suroccidental (Tierras de Ágreda, Soria).

En este estudio se pretende establecer la relación entre las surgencias de Ágreda, Añavieja y Devanos con el drenaje suroccidental de Macizo del Moncayo, y también con el sistema Río Araviana-Manantial de Vozmediano. Para ello se realiza una actualización hidrogeológica de la zona que permita definir con precisión la dirección del flujo subterráneo en los diferentes acuíferos.

El principal objetivo de éste trabajo consiste en actualizar el modelo de funcionamiento hidrogeológico del acuífero carbonatado de la Tierra de Ágreda mediante la aplicación de las modernas técnicas actuales basadas en la utilización de sistemas de información georeferenciada (SIG) y la modelización numérica como metodología de identificación del flujo del agua subterránea, balance de agua y estimación de parámetros hidrogeológicos de los acuíferos (método inverso)

Para ello, se ha realizado:

- a) Procesado de las bases de datos disponibles con criterio hidrogeológico y construcción de una base de datos georeferenciada y actualizada.
- b) Manejo de la nueva cartografía geológica digital y georeferenciada GEODE puesta a disposición por el IGME. Así como la utilización de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) para mejorar la precisión de las medidas piezométricas.
- c) Toma de muestras de aguas subterráneas para su análisis físico-químico, elaboración y representación de los resultados.
- d) Validación de toda la información mediante un modelo numérico.

La zona de estudio se sitúa en el Sistema Ibérico, concretamente en la Sierra del Moncayo y áreas adyacentes hacia el Sur y Oeste de la misma. Abarca un área de 390 Km² pertenecientes en parte a la cuenca del río Ebro y en parte a la cuenca del río Duero. Las localidades contenidas son Ágreda, La Cueva de Ágreda, Muro de Ágreda, Aldehuela de Ágreda, Vozmediano, La cueva de Ágreda, Beratón, Añavieja, Ólvega, Matallebreras, Montenegro de Ágreda, Trébago, Fuentestrún, Castilruiz, Debanos, Valdelagua del Cerro y San Felices, todos pertenecientes a la provincia de Soria.

Los límites de la zona de estudio coinciden con límites de carácter hidrogeológico definidos por la divisoria de aguas superficiales y subterráneas; al Sur y al Este por la Sierra del Tablado-Toranzo y Sierra del Moncayo, al Oeste la Sierra de Alcarama-Castilruiz y al Norte las principales zonas de descarga. Los ríos Araviana, Cailles, Queiles, Añamaza, Val y Manzano configuran la red hidrográfica de la zona de estudio (Figura 1).

Desde un punto de vista topográfico la zona de estudio se enmarca dentro de las hojas 319 (Ágreda), 320 (Tarazona), 351 (Ólvega) y 352 (Tabuena) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000.

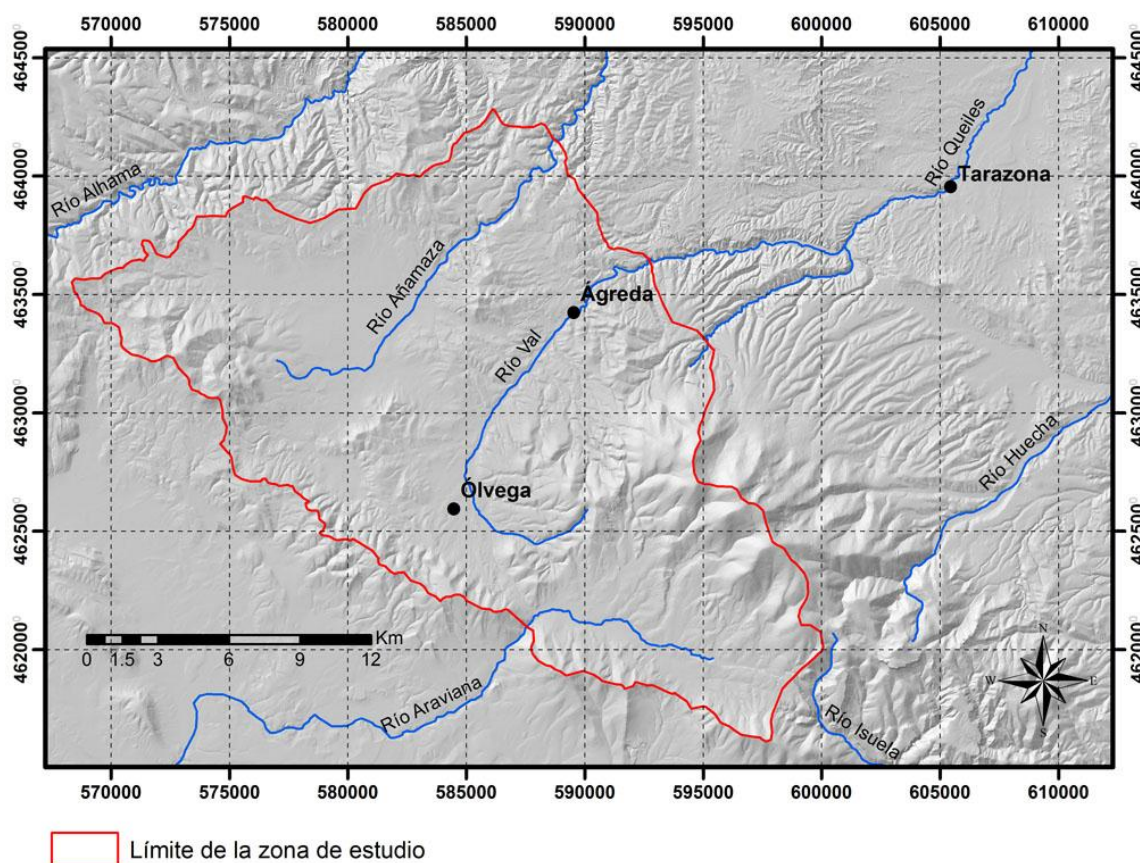


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio.

2. METODOLOGÍA

Incluye los siguientes apartados:

2.1 ESTUDIO Y ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Esta tarea consiste en la actualización del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos considerados. Se debe poner un especial énfasis en aclarar las incógnitas existentes en el modelo conceptual de funcionamiento del sistema. El resultado de esta tarea debe ser un modelo conceptual revisado de los acuíferos. Consta de las siguientes partes:

- Revisión y síntesis de la información geológica e hidrogeológica existente que sea necesaria. Antecedentes sobre la laguna de Añavieja, Ágreda y del acuífero de Vozmediano.
- Recopilación de la información existente sobre la evolución piezométrica creando un banco de datos hidráulicos para la aplicación de los modelo.
- Recopilación de la información sobre la evolución de la composición química de las aguas subterráneas en la zona del ámbito de estudio. Se ha creado también un banco de datos hidroquímicos para la validación del modelo.
- Zonificación y evaluación de la recarga.
- Determinación de la situación actual y evolución temporal de las extracciones de aguas subterráneas.
- Recopilación de todos los datos disponibles sobre los parámetros hidráulicos de los acuíferos. Estudio y re-interpretación de datos antiguos, litofacies, etc.
- Evaluación del origen del agua subterránea y establecimiento de un primer modelo conceptual de funcionamiento de los acuíferos, su recarga, características del flujo subterráneo, relaciones con las aguas superficiales, etc.
- Complemento de las observaciones de niveles piezométricos y características hidroquímicas con nuevas medidas y muestreo hidroquímico e isotópico (O18, D).

2.2 MODELACIÓN NUMÉRICA DE LOS ACUÍFEROS

Elaboración de un modelo numérico del comportamiento de los sistemas acuíferos considerados. Este modelo debe simular los niveles piezométricos observados y debe permitir establecer el balance hidrológico, valorando los diferentes términos que lo componen. Todo esto debe realizarse de forma coherente con el modelo conceptual de funcionamiento del sistema definido en la tarea anterior. Se deberá calibrar los parámetros

utilizados en la modelación y validarlos para poder hacer las simulaciones que se crean convenientes dentro del marco del estudio.

La realización del modelo conlleva las siguientes tareas:

- Definición de los elementos del territorio a incluir en el modelo.
- Discretización del dominio espacial.
- Calibración.

El modelo deberá permitir en el futuro evaluar la respuesta de los acuíferos a las variaciones del nivel de base de los sistemas naturales (construcción de barreras hidráulicas tobáceas).

Paralelamente al proceso de modelación de los acuíferos, tanto las bases de datos creadas en el objeto del estudio como los datos introducidos o generados por el propio modelo numérico hidrogeológico, deberán poder consultar en un sistema de información georeferenciada.

3. GEOLOGÍA

3.1 SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL

Desde un punto de vista geológico la zona de estudio se encuentra en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. El área comprende un zócalo hercínico, un tegumento pérmico y triásico, y unas formaciones de cobertera constituidas por materiales del Jurásico marino y materiales en “facies Purbeck-Weald” (Figura 2).

Con un alineamiento estructural NO-SE la unidad geológica de la Sierra del Moncayo incluye el propio anticlinal del Moncayo, que afecta predominantemente a materiales del macizo permotriásico y el conjunto de materiales jurásicos que lo rodean. El zócalo paleozoico aflora de forma importante al Sur en el bloque levantado de la Falla del Tablado, a lo largo del eje estructural Tablado–Torzano (Richter, 1930) de orientación NNO-SSE. Este zócalo se compone de materiales del Cámbrico (Lozte, 1929, Quarch, 1967). El macizo permotriásico de la Sierra del Moncayo presenta materiales con una potencia de 450 m; los 125 m basales son del Pérmico Inferior en “facies Saxoniense” (Arribas, 1985), por encima aparecen materiales “facies Buntsandstein”. El tramo intermedio presenta una barra dolomítica (M1) y un paquete de margas (M2) en “facies Muschelkalk”. El Triásico Superior se presenta también en facies germánicas tipo “Keuper” con lutitas y yesos versicolores. Los materiales del Keuper o los materiales margosos del M2 en ausencia de los primeros se comportan como nivel de despegue en la región (Imaz-Gil, 2001). La cobertera jurásica sigue un modelo de interferencia de pliegues, dando múltiples direcciones de plegamiento y de diferente amplitud. Las “facies Purbeck-Weald” incluyen las unidades (Tischer, 1965; Gómez, 1992): Grupo Ágrede, Grupo Tera y parte del Grupo Oncala con una potencia que puede llegar a los 1000m de potencia según Gómez y Meléndez (1994).

Desde un punto de vista estructural, la estructura de este sector viene marcada por la Falla del Tablado que con una dirección ONO-ESE a NO-SE representa el accidente más notorio de la Rama Aragonesa que llega a involucrar zócalo hercínico.

Desde un punto de vista geomorfológico la zona ha sido estudiada por Sanz (1987), presenta claras manifestaciones kársticas, gran número de dolinas, simas, cuevas y el polje del valle del Araviana, situado en el sinclinal de la fosa de Beratón. Se trata de un polje kárstico abierto ya que en condiciones de excepcional pluviometría logra con dificultad drenarse por el río Araviana, claramente influente.

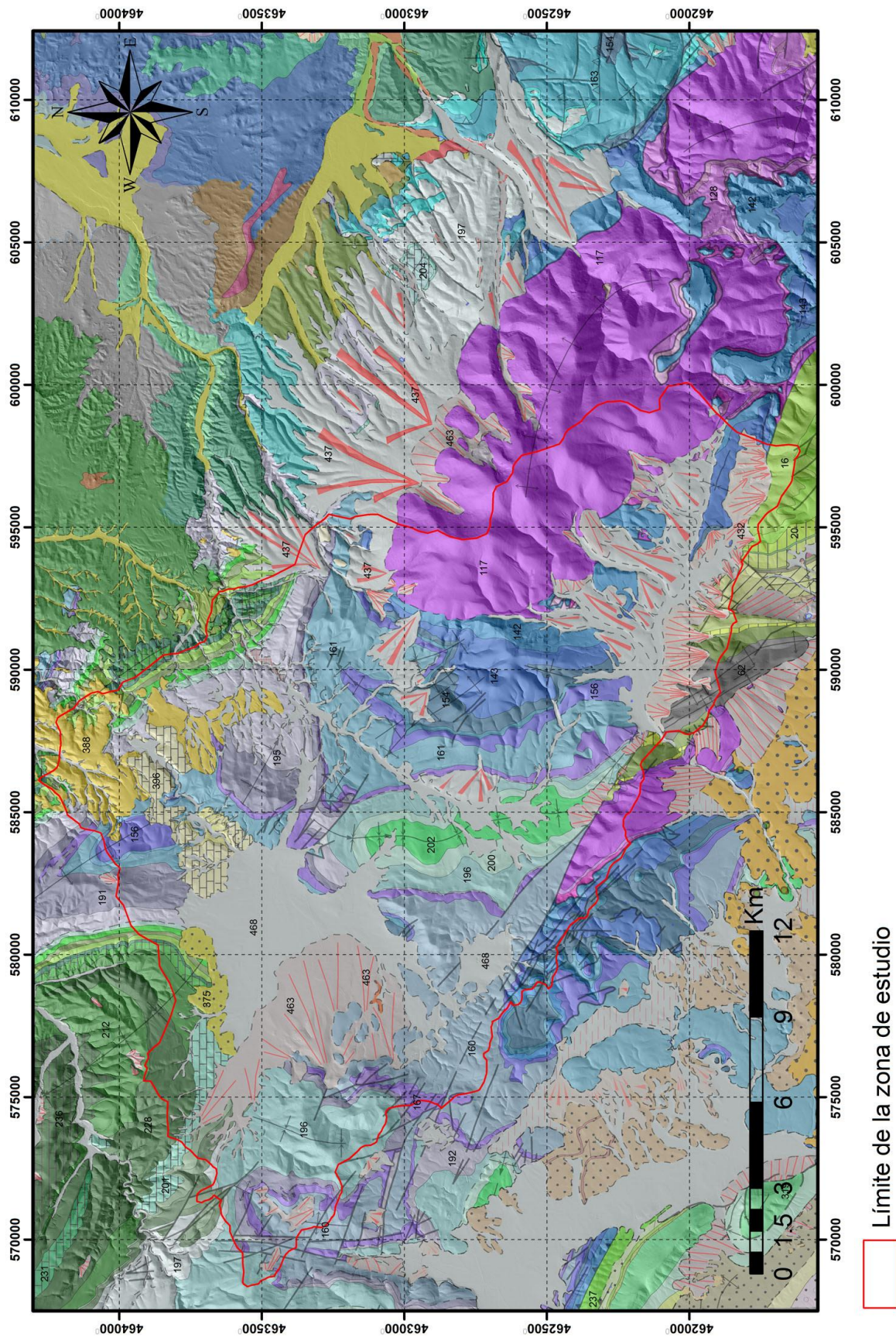


Figura 2. Mapa geológico de la zona de estudio. Leyenda en el anexo A. Cartografía GEODE digitalizada del plan MAGNA de las hojas con número: 319-Ágreda (Rey y Rivera, 1981); 320-Tarazona (Castiella y Del Valle, 1977); 351-Ólvega (Martín y Esnaola, 1973) y 352 Tabuena (Hernández et al., 1980)

3.2 LITOESTRATIGRAFÍA

En este apartado se procede a realizar una síntesis de la estratigrafía que afecta a la zona de estudio. Por su notable interés hidrogeológico se mostrará un mayor detalle en los materiales carbonatados del Jurásico, hecho que se discutirá en apartados posteriores.

Existe la cartografía del plan MAGNA a escala 1:50000 de las hojas con número: 319-Ágreda (Rey y Rivera, 1981); 320-Tarazona (Castiella y Del Valle, 1977); 351-Ólvega (Martín y Esnaola, 1973) y 352-Tabuena (Hernández et al., 1980) que engloban la zona a estudiar con la precisión adecuada para los objetivos de un trabajo de carácter regional como el presente, en ocasiones incluso excesiva. Por ello, y al no existir una cartografía actualizada homogénea en toda la zona como la expuesta, se decide trabajar con la misma y utilizar la nomenclatura propuesta por los autores de dichas hojas.

3.2.1 LA SERIE PALEOZOICA

3.2.1.1 Cámbrico

El Cámbrico Inferior aflora en el extremo Sur de la zona de estudio y se encuentra representado por una alternancia de 200 m de potencia de areniscas y limolitas verdosas cuarzo-feldespáticas que hacia techo se vuelve más cuarcítica (Capas de Embid, Lotze, 1929-1961). Por encima existen 150 m de limolitas arenosas rojo-violáceas en base que pasan hacia techo a ser más finas y calcáreas (Capas de Jalón, Lotze, 1929-1961). El siguiente tramo se compone de 100 m de una alternancia de arcosas, subarcosas y argilitas y por encima unas limolitas rojas que a techo pasa a un tramo de dolomías, calizas y calizas dolomíticas, con un espesor de 100 m.

El Cámbrico Medio se compone de 200 m de argilitas y limolitas. Sobre éstas encontramos 100 m de limolitas carbonatadas que culminan en limolitas y calizas recrystalizadas. Finalmente 80 m de cuarzoarenitas con tramos limosos y 220 m de materiales lutíticos.

En contacto mecánico por una falla se encuentran cuarcitas y esquistos de edad ordovícica (Martín y Esnaola, 1973).

3.2.2 LA SERIE MESOZOICA Y CENOZOICA

El registro sedimentario mesozoico consiste en una sucesión prácticamente continua de materiales agrupados por Salas (1985 y 1989) en cuatro supersecuencias de depósito fundamentales:

3.2.2.1 Supersecuencia triásica (Pérmico Superior-Rhetiense):

En la parte más oriental de la zona de estudio, yaciendo sobre la discordancia erosiva y angular sobre materiales paleozoicos (Sáenz García, 1955) encontramos materiales en “facies germánicas”, materiales con una potencia de 450 m; los 125 m basales son del Pérmico Inferior en “facies Saxoniense” (Arribas, 1985), por encima aparecen materiales “facies Buntsandstein”. El tramo intermedio presenta una barra dolomítica (M1) y un paquete de margas (M2) en “facies Muschelkalk”. El Triásico Superior se presenta también en facies germánicas tipo “Keuper” con lutitas y yesos versicolores. Los materiales del Keuper o los materiales margosos del M2 en ausencia de los primeros se comportan como nivel de despegue en la región (Imaz-Gil, 2001).

3.2.2.2 Supersecuencia jurásica marina (Hettangiense-Berriasiense):

Esta supersecuencia junto con la anterior representan una etapa de subsidencia moderada y por ello se considera de “prerift” (Mas et al., 1993).

Estos materiales están constituidos por rocas eminentemente carbonatados, aunque aparecen tramos margosos, eventos detríticos y cambios laterales de facies desde materiales de carácter exclusivamente carbonatado a calizas detríticas e incluso de naturaleza casi exclusivamente clástica.

El tramo J11 se compone por dolomías tableadas de 15-20 m en la base (Fm. Dolomías tableadas de Imón, Goy et al., 1976) y de aproximadamente 200 m de dolomías brechoides masivas y oquerosas de aspecto carniolar (Fm. Carniolas de Cortes de Tajuña, Goy et al., 1976).

Sobre las dolomías se encuentra el tramo J12_13 compuesto por calizas micríticas y calizas dolomíticas bien estratificadas en capas decimétricas con niveles oolíticos y bioclásticos. Presenta superficies de estratificación arcillosas y ferruginosas (Fm. Calizas y Dolomías Tableadas de Cuevas Labradas, Goy et al., 1976).

Por encima empiezan a intercalarse de forma progresiva niveles margocalizos, tramo J13_21 de unos 190 m de potencia (Fm. Barahona y Fm. Cerro del Pez, Goy et al., 1976), hasta llegar a una monótona alternancia de calizas aciliosas-margosas y margas muy fosilíferas denominado como tramo Jm13_21 de 90 m de potencia (Fm. Margas y calizas de Turmiel, Goy et al., 1976).

Apoyado sobre el nivel margoso aparece el tramo J22_23 formado por un conjunto de calizas grises bien estratificadas, en capas de 30 a 40 cm con una potencia media en la zona de estudio de 100 m, que junto con el tramo J24_32, un tramo de calizas detríticas con lentejones de arenas y conglomerados de unos 250 m de media representan el Jurásico

Medio (Fm. Carbonatada de Chelva, Goy et al., 1976). Lateralmente hacia el Oeste El tramo J24_32 pasa a tener un carácter marcadamente diferente, es el tramo denominado como Jg24_32, compuesto por areniscas y conglomerados con cemento calcáreo.

Por encima encontramos el tramo J32 que constituye el techo de la serie marina del Jurásico Superior, se trata de calizas pararecificales oolíticas y muy fosilíferas, bastante recrystalizadas y dolomitizadas (Fm. Calizas con Corales de Torrecilla en Cameros, Alonso y Mas, 1988). Estas calizas pueden tener terrígenos cuya proporción aumenta hacia el Oeste de la zona de estudio hasta dar “facies Purbeck”. La potencia de este tramo oscila en torno a 50 m. En la parte más meridional puede aparecer un tramo de 10 m de calizas recrystalizadas blancas, es el tramo denominado como Jcl32.

El paso del Jurásico Superior marino al continental viene marcado en toda la zona por una discontinuidad estratigráfica que corresponde a un cambio tectónico importante, representa el cambio de sedimentación en plataforma carbonatada a sedimentos de cuencas continentales fluvio-lacustres. Esta discontinuidad se evidencia en la zona de estudio por la presencia de paleokarstificaciones y costras ferruginosas.

3.2.2.3 Supersecuencia del Jurásico Superior-Cretácico Inferior en facies “Purbeck-Weald”:

Los materiales que componen esta supersecuencia Titónico-Aptiense/Albiense Inferior clásicamente se han subdividido en 5 grupos litoestratigráficos detríticos y carbonatados alternativamente (Tischer, 1966) de los que únicamente aparecen los dos primeros grupos en la zona de estudio:

-Grupo Tera:

Los niveles inferiores corresponden a conglomerados de cuarzo con matriz cuarcítica y cuarzoarenitas, es el tramo J1cg_32 y tiene una potencia muy variable de más de 150 m a 90 m y puede llegar a desaparecer en zonas adyacentes al área de estudio. Hacia techo de la serie aparecen en mayor proporción las limolitas llegando a desaparecer los conglomerados, ello permite diferenciar un tramo (J1sl_32) netamente de limos que pueden llegar a tener una potencia máxima de 560 m en el pegado. Este último tramo puede pasar lateralmente a una alternancia de arcillas, limos y areniscas rojas muy características (J1as_32).

-Grupo Oncala:

En este grupo empiezan a aparecer niveles carbonatados, en la cartografía del plan MAGNA se distinguen cuatro tramos diferenciados que corresponden a cuatro secuencias muy parecidas en la que tiene cada una un banco de calizas en la base y va pasando a terrígenos de tamaño arena y limos muy recrystalizados y dolomitizados; son los tramos denominados como J2sl_32, J2ls_32, J2lac_32 y J2l_32, y tienen una potencia de entre 400 y 500 m es su totalidad por la zona de Ágreda y Añavieja, lateralmente reducen su potencia hasta acabar en un único tramo de 20 m (J2c3_32) en la parte más oriental y a 50 m en la

parte suroeste de la zona de estudio (J2c1_32). Sobre los cuatro tramos mencionados anteriormente se superpone un tramo de calizas negras muy bituminosas (J2c1_32) de 80 m de potencia máxima. Como término último en la serie de la zona de estudio encontramos un tramo (J2c2_32) formado por calizas bandeadas con una potencia máxima de 50 m.

3.2.2.3 Terciario y cuaternario.

En discordancia sobre todas las demás formaciones se disponen una serie de abanicos aluviales con secuencias granodecrecientes que van de conglomerados con intercalaciones frecuentes de arcillas y limos a areniscas con algunos cantos blandos y a techo arcillas y/o limos.

En las proximidades de Añavieja encontramos un conjunto de calizas tobáceas, arcillas y arenas. En la base encontramos arcillas o arcillas arenosas con intercalaciones de areniscas y grandes depósitos de calizas tobáceas entre las localidades de Añavieja y Dévanos, en torno a la cota 1000 m.s.m. con una potencia de 20 a 25 m probablemente de edad Miocena (Sáenz et al., 1989).

Los materiales cuaternarios existentes corresponden a la red fluvial actual, limos y arenas fundamentalmente, materiales coluviales constituidos por arenas y gravas, y travertinos. Estos materiales son descritos (Palacios, 1890) en la localidad de Ágreda donde presentan un desarrollo importante y se atribuyen por el mismo autor a los ojillos del Queiles, a partir de los cuales empiezan a aparecer estos materiales. El mismo autor cita la existencia de estos depósitos travertínicos en las proximidades del manantial de Vozmediano, pero de mucho menor desarrollo. Otro conjunto importante de materiales tobáceos aparecen en las inmediaciones del cauce del río Añamaza. Por último otro depósito de travertinos aparece en la localidad de San Felices, con envergadura mucho menor a los anteriores mencionados.

JURASICO				IGME (1973,1977,1981a,b,1982a, c) ITGE (1990a, b)		GOY et al. (1976) GOMEZ Y GOY (1979) MELENDEZ (1989)		WILDE (1988, 90)		ALONSO Y MAS(1988) ALONSO et al. (1989)	
				S-SE	N-NW			NE Cameros	Atavieja/Pégado	negat.	
MALM	PORTLAN.		FACIES PUR-WEALD	GRUPO ONCALA						CICLO I	
	KIMMERID.			GRUPO TERA				CICLO I (Facies Purbeck)			
	OXFORDIENSE										
DOGGER	CALLOVIENSE		J32	J24-32	J24-32	J31	8	7			Fm Torrecilla en Cameros Fm Calizas negras Aldeapozo
	BATHONIENSE			J24-32	J24-32	J31	6				
	BAJOCIENSE			J22-23	J22-23	J31	5				
	MEDIO			J22-23	J22-23	J31	4				
	INFERIOR			J22	J22	J31	3				
	AALENIENSE			J m 13-21	J13-21	J31	2				
LIAS	TOARCIENSE		J12-22	J13-21	J13-21	J31	4				Fm Cortes de Tajuña Fm Imón
	PLIESBACHIENSE			J12-13	J12-13	J31	3				
	SINEMUR.			J12-13	J12-13	J31	2				
	HETTANGIENSE			J 11	J 11	J31	1				
	RETHIENSE			J 11	J 11	J31	1				

Figura 3. Principales unidades estratigráficas y sus características cronológicas (Coloma, 1999).

3.3 ESTRUCTURA

El dominio estructural de la zona se caracteriza por la presencia de estructuras de plegamiento laxas de dirección ibérica (NW-SE) afectando a todo el paquete de materiales jurásicos y cretácicos. Destacan las siguientes estructuras (Figura 4): El anticlinal del Pegado que puede considerarse como la prolongación noroeste de la estructura del anticlinorio del Moncayo (Tischer, 1966), su eje de plegamiento tiene una orientación NW-SE y presenta un cierre periclinal brusco hacia el noroeste. Este anticlinal enlaza con una estructura antiformal que tiene forma de punto triple y que queda evidenciada por el cierre periclinal del sinclinal de la Sierra de Alcarama-Castilruiz y el sinclinal de Muro de Ágreda-Ólvega. El sinclinal de San Blas podría considerarse como una “abolladura” de tal macroestructura.

Sin lugar a duda la Falla del Tablado en la zona más meridional representa la fractura con mayor control estructural de la zona de estudio, con saltos de falla de hasta 3000 m al Sur y que va atenuándose dicho salto hacia el noroeste donde termina por ser inapreciable cartográficamente. Esta atenuación progresiva también puede ser observada en la Falla de Talamantes-Ágreda descrita por Gil Imáz (1993) y Gil Imáz et al. (1994). Ambas fallas siguen una orientación principalmente ibérica NW-SE.

Para la reconstrucción de la estructura y la disposición de los materiales susceptibles de almacenar y transmitir agua es necesario estudiar dicha estructura mediante la construcción de 15 cortes seriados (**Figuras 5-19**). No se dispone de ningún sondeo profundo importante que llegue a la base del Jurásico ni ningún perfil sísmico que ayude a mejorar la interpretación de la geología de superficie.

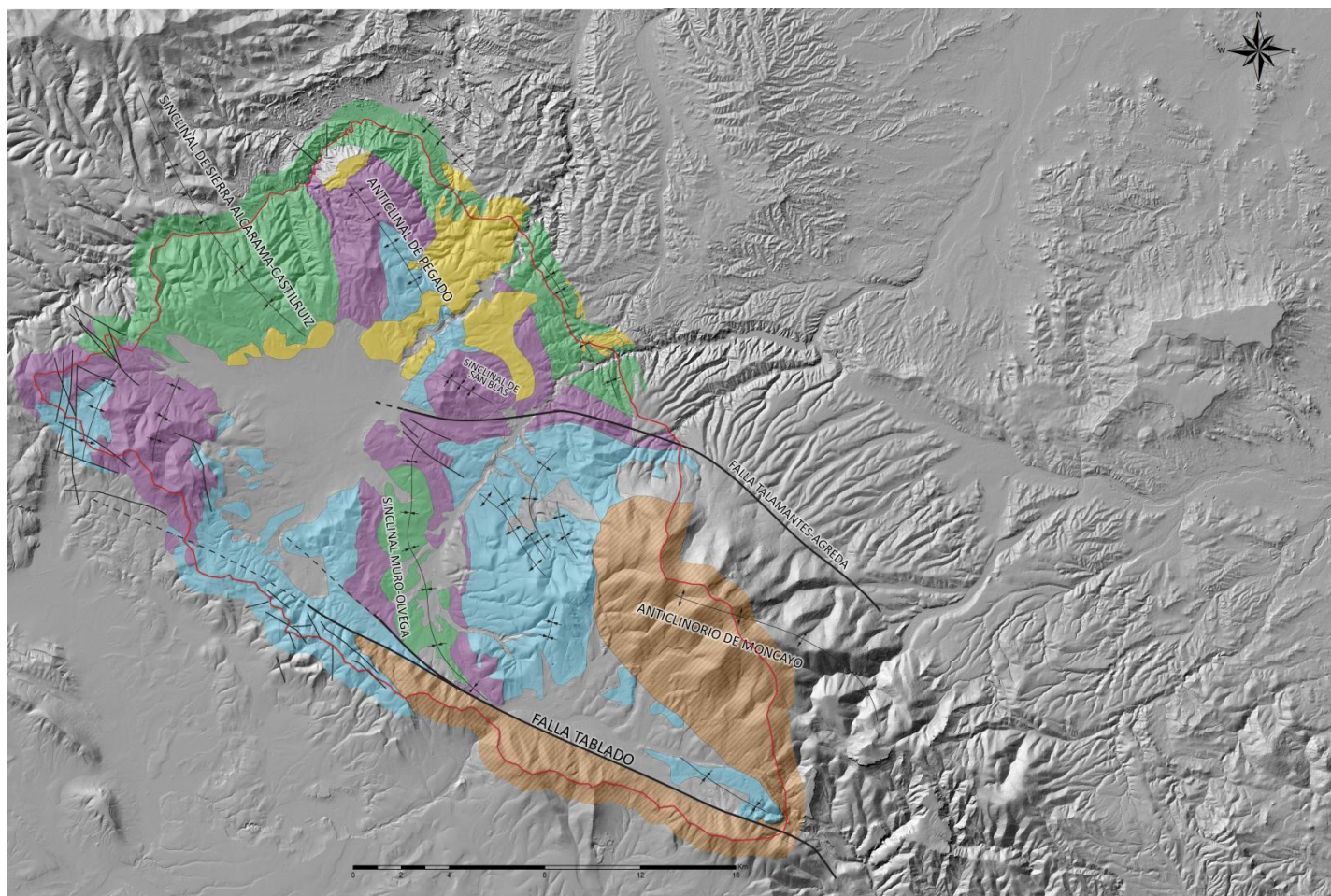
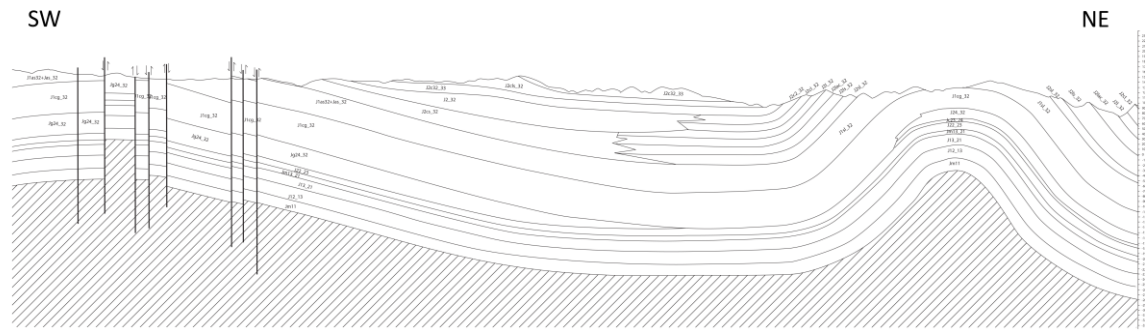


Figura 4. Principales estructuras de la zona de estudio. En marrón las series paleozoicas y permotriásicas, en azul el Jurásico marino, en morado el grupo Tera, en verde el grupo Oncala y en amarillo materiales terciarios.



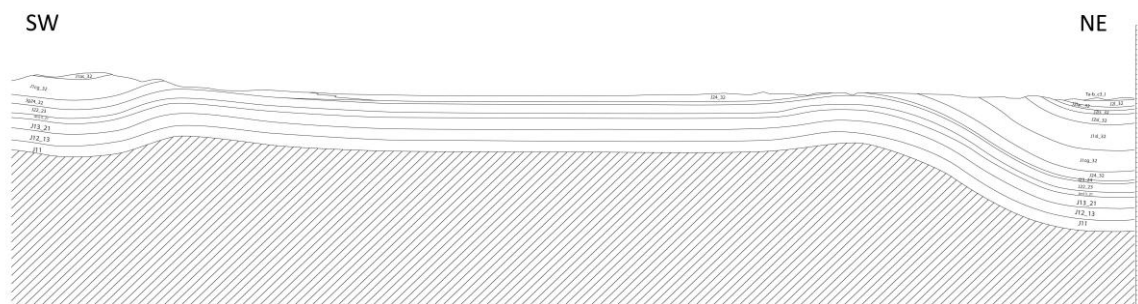


Figura 8. Corte geológico seriado 3. Ver localización en el anexo, Figura A2.

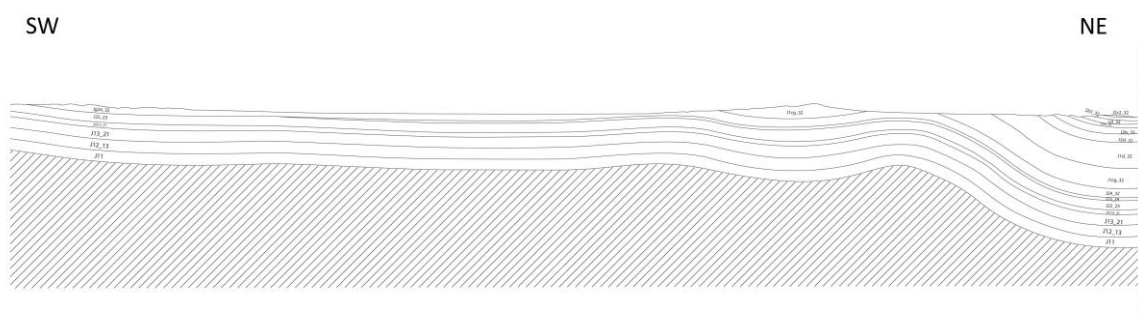


Figura 9. Corte geológico seriado 4. Ver localización en el anexo, Figura A2.

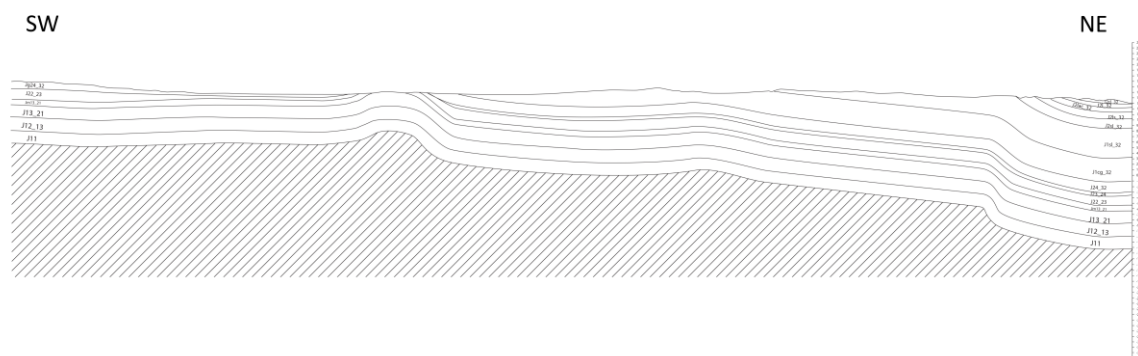


Figura 10. Corte geológico seriado 5. Ver localización en el anexo, Figura A2.

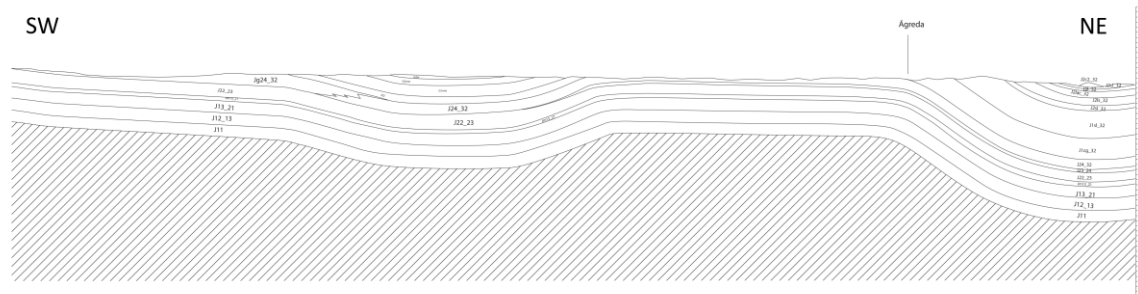


Figura 11. Corte geológico seriado 6. Ver localización en el anexo, Figura A2.

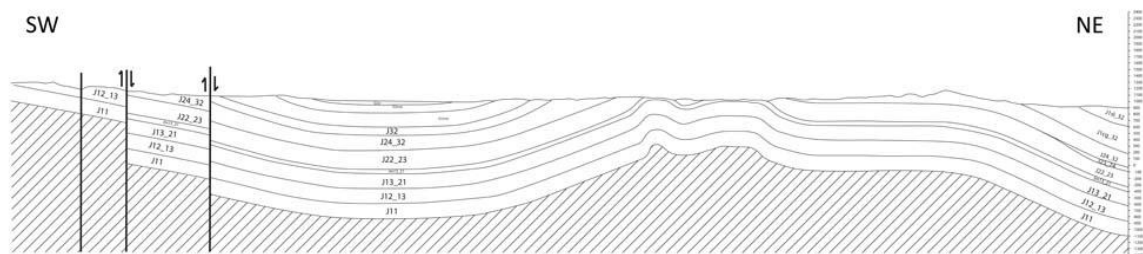


Figura 12. Corte geológico seriado 7. Ver localización en el anexo, Figura A2.

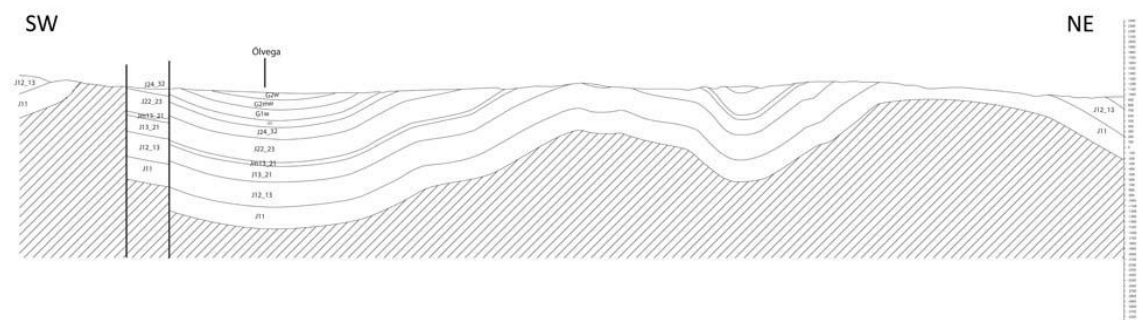


Figura 13. Corte geológico seriado 8. Ver localización en el anexo, Figura A2.

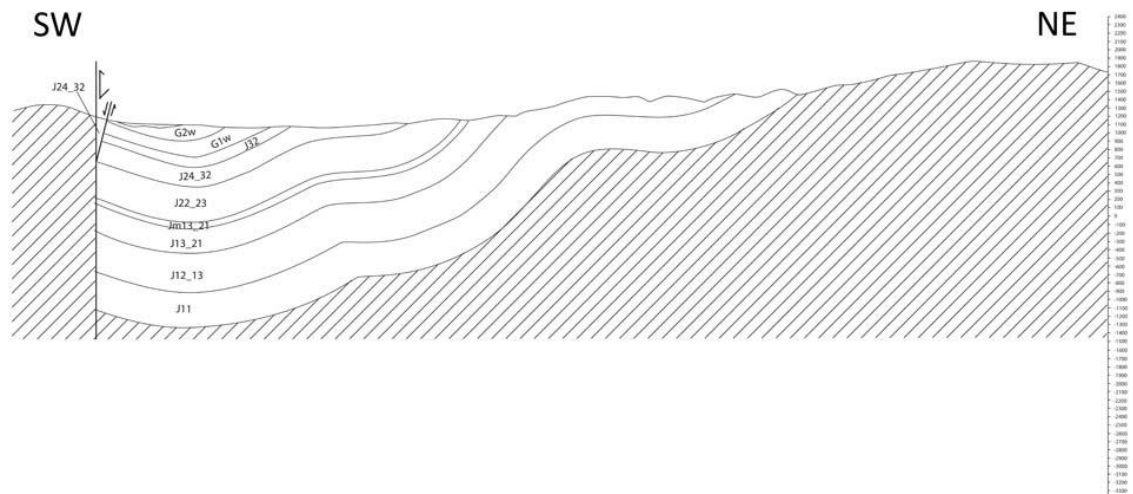


Figura 14. Corte geológico MAGNA_351_3. Ver localización en el anexo, Figura A2.

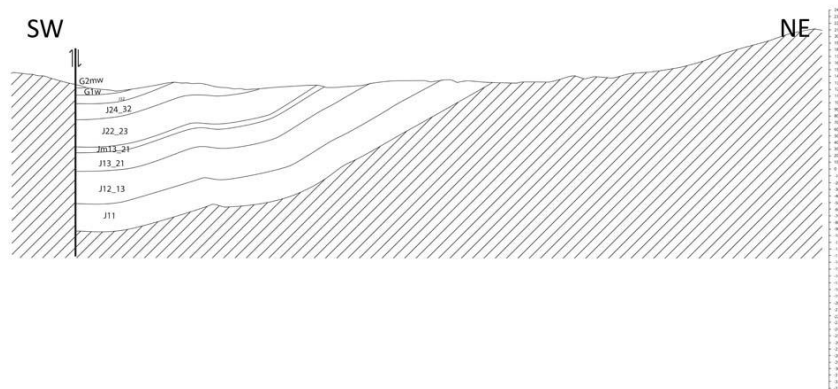


Figura 15. Corte geológico seriado 9. Ver localización en el anexo, Figura A2.

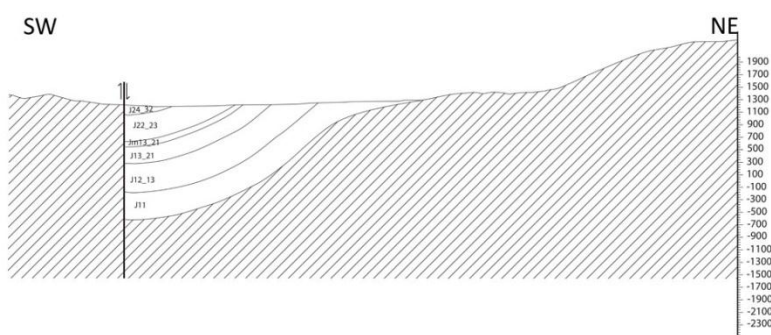


Figura 16. Corte geológico seriado 10. Ver localización en el anexo, Figura A2.

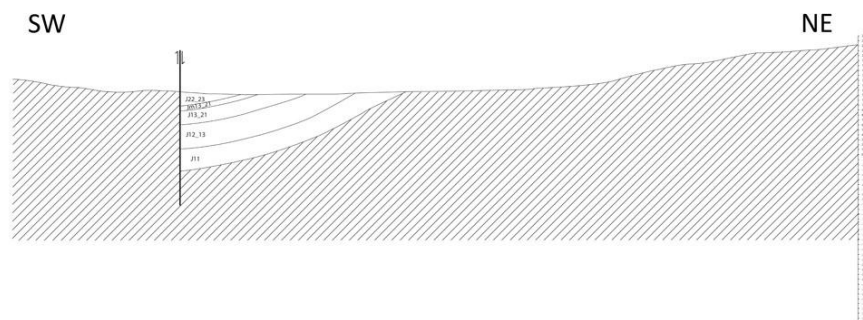


Figura 17. Corte geológico seriado 11. Ver localización en el anexo, Figura A2.

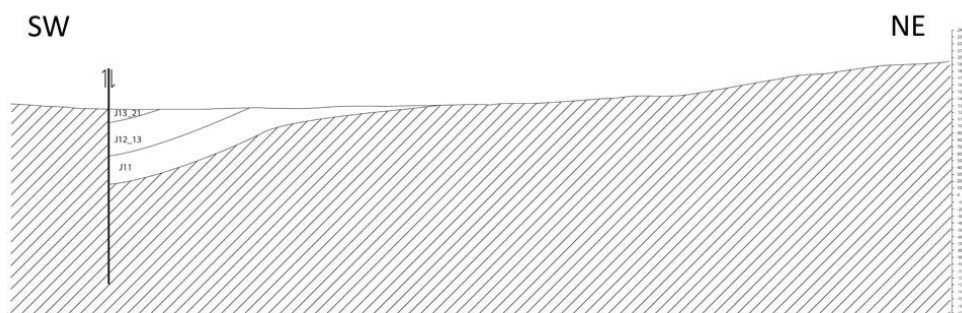


Figura 18. Corte geológico seriado 12. Ver localización en el anexo, Figura A2.

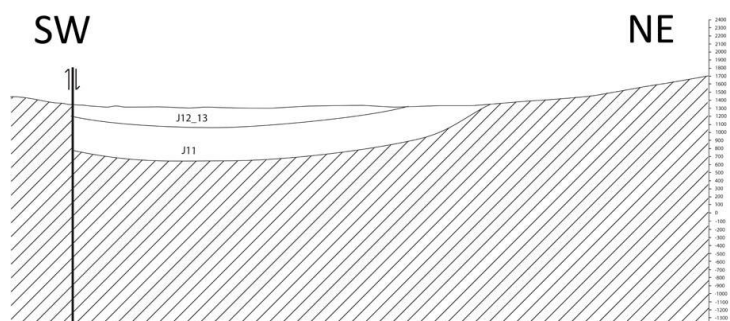


Figura 19. Corte geológico seriado 13. Ver localización en el anexo, Figura A2.

4.HIDROGEOLOGÍA

4.1 ANTECEDENTES

El primer trabajo hidrogeológico de la zona de estudio data de finales del S.XIX, se centra fundamentalmente en la laguna de Añavieja y su proyecto de desecación (SAAVEDRA, 1853). Entre los trabajos realizados posteriormente cabe destacar la tesis doctoral de Sanz (1987) en la que hace un estudio detallado del funcionamiento del manantial de Vozmediano con un exhaustivo balance hídrico de la zona. Otro trabajo relevante fue realizado por IGME (1960) aportando las primeras referencias del funcionamiento de la Laguna de Añavieja. También Sanz (1992) realizó un estudio sobre la relación entre las aguas subterráneas y superficiales de la zona de Añavieja dando un caudal base de 14 Hm³/año. Un estudio de SGOP (1990) realizó una estimación, mediante aforos diferenciales, del volumen de aportación de los manantiales en la zona de Añavieja de 15 Hm³/año. Otro gran avance en el conocimiento hidrogeológico de la zona viene con la tesis doctoral de Pablo Coloma (1999), con un estudio de las cuencas del Añamaza y del Val. Este último autor aporta un mapa de isopiezas avanzado pero con algunas incertidumbres a la hora de relacionar los manantiales de Añavieja y Ágreda. En 2001 se realiza otro estudio hidrogeológico para la mejora de la gestión de regadíos en la cuenca del Añamaza (TRAGSA, 2001) del que se dispone la base de datos. Por último, en 2005 se realiza un estudio de posgrado (Pérez, 2005) de los acuíferos del entorno de la laguna de Añavieja.

4.2 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

La información básica utilizada en el desarrollo de este trabajo procede del inventario de puntos de agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Ver anexo, Tabla A2) y de TRAGSA (ver anexo, Tabla A3). La información ha sido actualizada con datos de campo.

Actualmente, la cantidad de datos inventariados en la base de datos (registros) de la CHE es muy elevada, aunque no todos los registros presentan datos suficientes, siendo muy frecuente que datos relevantes para la interpretación hidrogeológica aparezcan vacíos. Es por ello, que se ha considerado interesante elaborar una tabla de datos específica de captaciones que presentan información relevante, cruzada con el inventario de TRAGSA y contrastada sobre los aspectos siguientes:

- Características geológicas e hidrogeológicas, especialmente columna litológica.
- Piezometría, nivel de agua.
- Físico-química de las aguas.
- Parámetros hidrogeológicos del acuífero, datos de aforo o bombeo

Se han incluido también los datos específicos de manantiales con estimación de caudales. Se trata de órdenes de magnitud, ya que los caudales son, en ocasiones, muy variables según la época del año. Se pretende identificar adecuadamente las zonas de descarga de los acuíferos.

4.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS MATERIALES

Dado que el comportamiento hidrogeológico de los materiales está principalmente condicionado por las características y disposición litoestratigráficas de los mismos, se procede a definir y describir las unidades hidroestratigráficas.

Materiales paleozoicos

Estos materiales pueden considerarse como materiales que no contienen y transmiten agua, son materiales no acuíferos tipo “Hard-Rock” con permeabilidad por fisuración que ocasionalmente y en zonas de mayor fracturación pueden dar pequeños caudales de agua (Sanz, 1987). A efectos prácticos estos materiales pueden considerarse como relativamente “impermeables” respecto a otros materiales de la zona de estudio. En general, estos materiales han experimentado una diagénesis importante, sin llegar al metamorfismo, pero que constituyen un zócalo poco permeable sobre el que se apoyan discordantes los materiales mesozoicos. Además, las fuertes pendientes topográficas hacen que el valor de laminación de escorrentía sea muy bajo y en consecuencia la mayor parte de la precipitación se convierte en escorrentía que es infiltrada de forma súbita en los materiales jurásicos karstificados.

Materiales mesozoicos

-Materiales triásicos

Las areniscas del Buntsandstein se encuentran muy cementadas y carecen de una fracturación importante, hecho que hace consideralas como materiales de baja permeabilidad. Es cierto que en ocasiones, no abundantes, aparecen manantiales con caudales nada despreciables de 40 L/s y muy estables en el tiempo. Las dolomías del Muschelkalk son materiales transmisivos pero su reducida potencia y extensión de afloramientos no permiten ser consideradas como buenos acuíferos. Por último los materiales del Keuper son arcillosos-evaporíticos y de baja permeabilidad que constituyen el sustrato impermeable general de la Cordillera Ibérica para todos los materiales suprayacentes (Sanchez Navarro et al., 1990, 1992 y 1994; Coloma, 1995 y Coloma et al., 1995a, b).

-Materiales jurásicos

Los materiales del Jurásico marino constituyen el principal acuífero regional de esta zona de la Cordillera Ibérica, distinguiéndose según Coloma (1999) tres unidades hidrogeológicamente diferenciadas: una inferior, una media y una superior.

La unidad inferior del Lías inferior se compone por materiales de elevada porosidad eficaz y elevada permeabilidad debido a una densa red de fisuración y a las oquedades características de las carnioles que se encuentran bien interconectadas. Las carnioles son muy susceptibles a la karstificación tal y como se evidencia en las formas exocársticas; simas, cuevas y sumideros. Las calizas a techo de este tramo también son una litología favorable a la karstificación, tanto por su composición como por su reducido intervalo de estratificación de unos pocos decímetros y densidad de diaclasado también de pocos decímetros. Según la tipología básica de acuíferos carbonatados de Bayó et al. (1986) este acuífero será clasificado por Coloma (1999) como acuífero kárstico de flujo difuso. Este mismo autor da unos valores de transmisividad para ese tramo de 100 a 3000 m²día⁻¹, valores similares a los 4000 m²día⁻¹ que aporta San Román (1994) en las cuencas del Huecha y Jalón. Además este carácter acuífero queda también evidenciado por los numerosos manantiales que aparecen en la intersección de este tramo con la topografía en esta zona de la Cordillera Ibérica, descritos por también por Coloma (1999) en su tesis doctoral.

Por otro lado la unidad intermedia del Lías superior se compone de un tramo inferior de una alternancia de margas y calizas con menor intensidad de fracturación que los materiales anteriores, esto se debe a que presentan un comportamiento incompetente. Las margas a techo son mucho menos permeables y mucho menos susceptibles a la karstificación dada su naturaleza arcillosa. Hidrogeológicamente se puede considerar en su conjunto como no acuífero (Sanz, 1987) de menor permeabilidad en relación a los materiales infrayacentes del Lías inferior o a los suprayacentes del Jurásico Medio y Superior. Coloma en su tesis coincide en este aspecto y da unos valores de transmisividad menores a 10 m²día⁻¹ y excepcionalmente 40 m²día⁻¹, autor que observa la presencia de manantiales en la intersección de este tramo en contacto con la unidad suprayacente (Dogger y Malm) con la superficie topográfica.

La unidad superior que comprende los materiales del Dogger y Malm Son materiales carbonatados con una importante red de fisuración que junto con unas condiciones climáticas favorables han desarrollado un sistema karstico notorio. Es habitual observar en los afloramientos rocosos de estas formaciones gran cantidad de conductos kársticos. Coloma (1999) de nuevo, siguiendo la clasificación de Bayó et al. (1986) denomina a este tramo como acuífero kárstico por fisuración y aporta una tabla de transmisividades (Tabla 1). Las calizas margosas arenosas en la parte suroeste parecen tener cierto carácter “impermeable” debido a su contenido detrítico y su escasa densidad de fisuración, no obstante hacia el resto de la zona hay un cambio lateral de facies a calizas

más limpias y permeables. El nivel de calizas arrecifales debido a su gran pureza en carbonato, gran densidad de fisuración y estratificación, y la presencia de aparatos arrecifales presentan una gran porosidad eficaz y constituyen un nivel acuífero importante cuyo drenaje da lugar a una de las zonas de descarga mas importantes; los ojillos del Cailes (Ágreda).

Tabla 1. Valores de transmisividad en el Jurásico Medio y Superior (Coloma, 1999).

Nº IPA	Localidad	Q[L/s]	descenso [m]	T [m ² día ⁻¹]
241380008	Ágreda	12	4.4	270
241370018	Ágreda	4.3	8	60
241360018	Añavieja	15	0.35	4300
241370009	Añavieja	40	9	200
241370010	Añavieja	70	14	500
241370013	Añavieja	16.6	7	240
241370019	Añavieja	50	1.25	4000
241370021	Añavieja	22.2	1	2200
241370024	Añavieja	28	8	1900
241370025	Añavieja	104	41	250
241370041	Añavieja	23	25	150
241340016	Añavieja	4.3	3	80
241340008	Añavieja	280	1.59	10000
241380019	Ágreda	29	1	3000
241430026	Ágreda	3	0.7	450

-Materiales en “facies Purbeck-Weald”. Se trata de materiales de litologías muy variadas de una sedimentación presuntamente propia de un medio deltaico (IGME, hoja 319) en el que sobre un paquete eminentemente conglomerático se superpone una secuencia grano decreciente. Este medio de sedimentación confiere unas propiedades ciertamente “caóticas” relativamente a las rampas carbonatadas del Jurásico. Este medio sedimentario explica la presencia de cambios de espesor bruscos así como numerosos cambios laterales de facies. En general este paquete de sedimentos ha sido considerado como acuitardo en estudios precedentes (Coloma, 1999 y Sanz, 1987). Los sondeos que han intentado explotar este nivel han dado resultados muy poco satisfactorios, grandes descensos con pequeños caudales han permitido estimar transmisividades 10 a 80 m²día⁻¹. El grupo Oncala puede tener cierto interés hidrogeológico (25-700 m²día⁻¹) pero la ausencia de una interacción con el acuífero carbonatado y su presencia en estructuras colgadas sinformes descarta un papel importante en la hidrogeología regional de la zona.

Materiales del Terciario y Cuaternario.

Estos materiales terciarios son de naturaleza predominantemente detrítica propia de abanicos aluviales. Estos abanicos aluviales aparecen en la parte suroriental de la zona de estudio (Inmediaciones de la población de Matalebreras) pueden presentar niveles de

conglomerados con carácter acuífero. Las arcillas y limos que separan los conglomerados y a stos de las calizas explican este carácter confinado. El espesor de estos abanicos puede ser superior a 25 m y pueden aparecer varios niveles de conglomerados con niveles piezométricos por encima de las calizas. Es necesario evitar utilizar pozos y sondeos en estos materiales para obtener el nivel piezométrico del acuífero jurásico. Por lo tanto el acuífero jurásico en la zona de los aluviales y la antigua laguna de añavieja (parte distal de los abanicos aluviales) se encontraría confinado pasando a libre en la zona de añavieja

Los aluviales cuaternarios presentan materiales detríticos muy permeables que junto con los glaciares, también con cierta permeabilidad, actúan como zonas de recarga-descarga difusa de materiales jurásicos. En las proximidades al río Añamaza, entre Añavieja y Dévanos existe un paquete de calizas tobáceas permeables de unos 20-25 m de espesor en contacto discordante con las calizas jurásicas del sustrato que dan lugar a diferentes manantiales (241330011/20/25). Por otro lado estos materiales tobáceos presentan en la parte alta de sus afloramientos un epikarst muy desarrollado actuando como zona de infiltración muy eficiente.

4.4 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

Con el fin de hacer una aproximación a la recarga en el acuífero carbonatado del Jurásico se realiza un balance hídrico en el suelo para la zona central y occidental de la zona de estudio; para la zona oriental (Desde Beratón hasta Vozmediano) se utilizan los datos obtenidos de la tesis doctoral de Sanz (1987), tesis que presenta el análisis más exhaustivo de la zona hasta el momento. En esta tesis por medio de aforos diferenciales se estima de la escorrentía superficial proveniente de la zona pérmica-triásica y que es infiltrada en la zona karstificada de 247.4 mm y una infiltración directa en la zona kárstica de 294.0 mm.

Para la zona central-oriental se estima la ETP mediante el método de Thornthwaite, con los datos de las temperaturas y precipitación medias diarias de la serie 1985-2012 de la estación Valdegeña (2033). El balance de agua diario, con una precipitación media anual de 540 mm, una ETR de 315 mm y una escorrentía de 50 mm se estima en unos 60 mm/año·m².

5. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO JURÁSICO Y TRIÁSICO.

El trabajo de modelar numéricamente un sistema supone expresar el modelo conceptual en términos de parámetros susceptibles de ser manejados por un programa de ordenador. A continuación se expone de qué manera los datos hidrogeológicos y el modelo conceptual (Ver anexo, Figura 1A) han sido introducidos en el modelo numérico.

El objetivo es explicar porque determinadas variables han sido tratadas de determinada manera, de qué forma se han simulado los mecanismos de flujo del sistema en general, qué simplificaciones han tenido que realizarse, qué condiciones de contorno se han adoptado, cuál ha sido la estrategia de calibración y finalmente a qué resultados se ha llegado. Para ello resultará imprescindible tratar a grandes rasgos la filosofía del problema inverso, de la calibración automática y por supuesto, del programa utilizado, VISUALTRANSIN (Medina et al., 1996).

5.1 METODOLOGÍA

- EL PROCESO DE MODELACIÓN

Un modelo numérico es el reflejo del modelo conceptual, su parecido a la realidad está acotado por la medida en que el modelo conceptual esté más o menos cercano a la misma. El programa VISUALTRANSIN resuelve el problema inverso utilizando calibración automática. Para la resolución de la ecuación de flujo aplica el método de elementos finitos, lo que lleva a la necesidad de efectuar una discretización espacial del dominio. El problema que afronta el presente trabajo se resolverá en régimen estacionario, por lo que no tendrá relevancia la discretización temporal.

Además es necesario decir que el análisis crítico de los resultados del modelo conduce frecuentemente a replantear características más o menos extraídas del modelo conceptual, generándose un mecanismo iterativo que conlleva la mejora del modelo, si el examen de resultados es verdaderamente objetivo.

- VISUAL TRANSIN: EL PROBLEMA INVERSO Y LA CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA

El problema inverso consiste en la estimación de los parámetros del modelo a partir de medidas de las respuestas del sistema y de la información previa de dichos parámetros convenientemente ponderada. En éste caso estas medidas de la respuesta del sistema son las medidas de nivel de los pozos distribuidos en el dominio de la zona a modelar, medidas que se utilizan en el proceso de calibración, esto es, en el proceso de encontrar los parámetros del modelo para los que la diferencia entre las medidas observadas y calculadas sea óptima.

Para definir qué significa una relación óptima entre valores medidos y calculados generalmente se utiliza el concepto de diferencia o error. La manera más usual de expresar esta diferencia es la definición de una función de distancia entre el valor medido z y el

valor calculado z . El método utilizado por el programa VISUALTRANSIN es el de Máxima verosimilitud, que consiste en maximizar la probabilidad de observar los datos medidos con respecto a los parámetros, es decir, se maximiza la verosimilitud de los parámetros. Este método ha sido utilizado con éxito en la estimación de parámetros de flujo (Carrera, 1984).

Sea

$$F_h = (\mathbf{h} - \mathbf{h}^*)^t \mathbf{V}_h^{-1} (\mathbf{h} - \mathbf{h}^*) \quad (1)$$

donde h y h^* son respectivamente los niveles calculados y los medidos, y además

$$F_i = (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_i^*)^t \mathbf{V}_i^{-1} (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_i^*) \quad (2)$$

en la que p_i y p_i^* son respectivamente los i -ésimos parámetros calculados y medidos, entonces definimos la función objetivo

$$J = F_h + \sum \lambda_i F_i \quad (3)$$

VISUALTRANSIN minimiza la función objetivo J con respecto a los parámetros del modelo, que representan las propiedades del acuífero. F_h y F_i son las contribuciones de los niveles y de los parámetros en la función objetivo, mientras que λ_i es el factor de peso de la función objetivo de los parámetros de tipo i .

- PARAMETRIZACIÓN

En el contexto del programa, los parámetros físicos del modelo conceptual son introducidos como función de un conjunto finito de parámetros del modelo (parámetros de zona). El parámetro físico P_i , que en general se considera variable en el espacio y el tiempo, se expresa como:

$$P_i(\underline{x}, t) = P_z \cdot f_e(\underline{x}) \cdot f_z(t) \quad (4)$$

Considerándose

P_z , parámetro de zona

$f_e(\underline{x})$, coeficiente de elemento (o de nudo)

$f_z(t)$, función de tiempo

En el caso más general, considerando la no linealidad (el parámetro en sí depende de la variable de estado h), se tiene

$$P_i(\underline{x}, t, h) = P_z \cdot f_e(\underline{x}) \cdot f_z(t) \cdot f_{NL}(h(\underline{x}, t)) \quad (5)$$

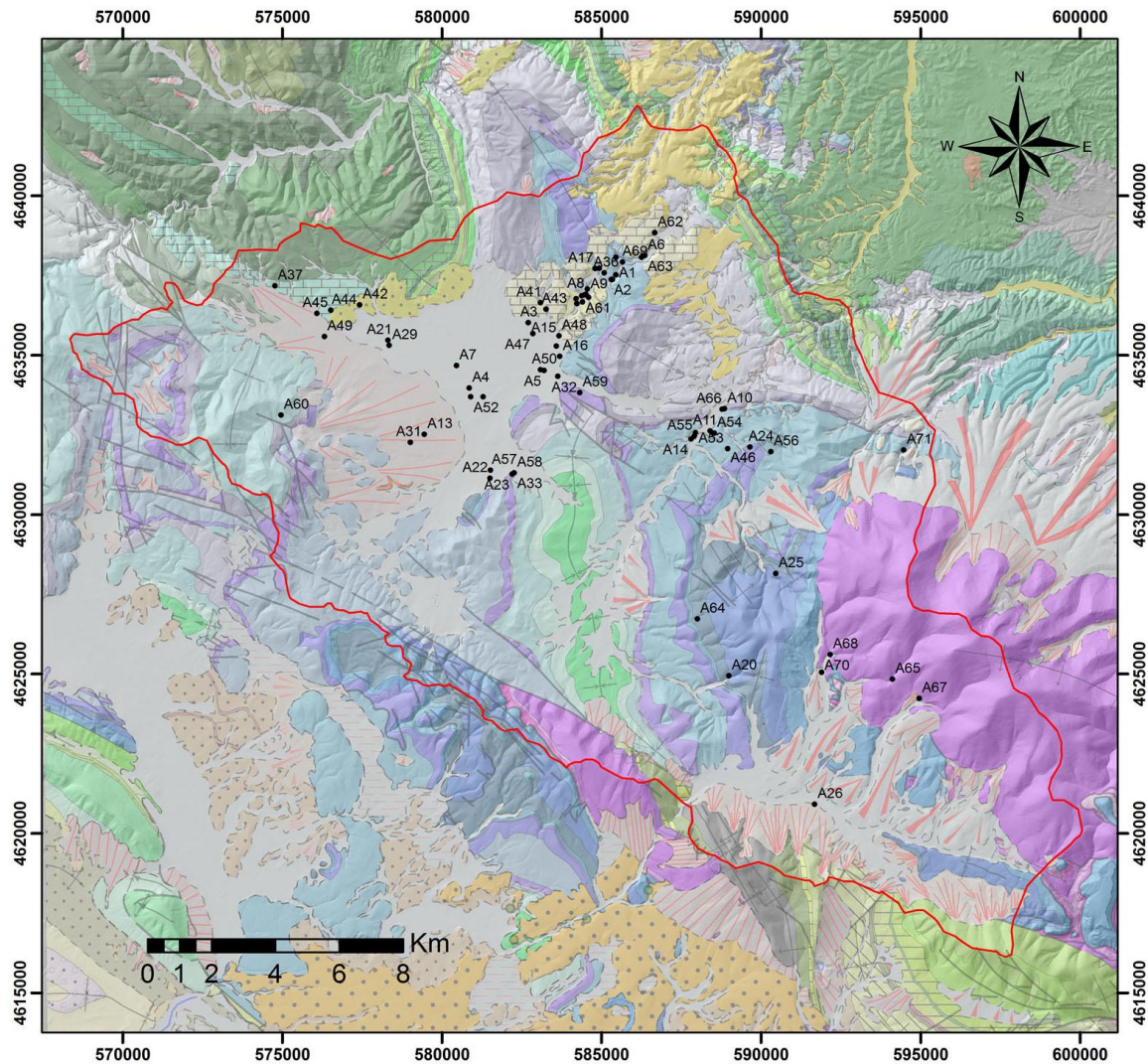
donde $f_{NL}(h(\underline{x}, t))$ es la función no lineal definida por el parámetro en cuestión.

En cuanto a f_e es el coeficiente de nudo o elemento según el parámetro esté asociado a un uno u otro ente geométrico. Este coeficiente sirve para introducir la variabilidad espacial, supuestamente conocida, dentro de la zona. El ejemplo más directo serían las cotas de los ríos (introducidas como coeficientes de nudo) o la variación del espesor saturado (introducidas como coeficiente de elemento).

El parámetro de zona es el parámetro que el programa calibra, y está asociado en general a formaciones geológicas, usos del suelo, etc. En cuanto a la función de tiempo, su uso más común está relacionado con la recarga, aunque en el modelo que aquí se describe no se han utilizado funciones de tiempo.

- DATOS PARA LA CALIBRACIÓN. TRATAMIENTO DE LOS NIVELES MEDIDOS

La calibración del modelo se ha realizado con un total de 70 (Figura 20) puntos de observación. Los puntos de observación son pozos, piezómetros y manantiales.



• Puntos de observación utilizados

Figura 20. Puntos de observación con datos piezométricos utilizados para la calibración, ver anexo, Tabla A4.

Los datos de piezometría utilizados provienen de las redes de control de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), IGME, la empresa de Transformación Agraria TRAGSA, la Fundación Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS) y aportaciones propias.

El tratamiento de la información de niveles supone también asumir que ciertos comportamientos no podrán ser reproducidos por el modelo ya que los procesos que los provocan no son tenidos en cuenta. Esto sucede con los niveles dinámicos y con determinados efectos locales. A esto hay que añadir errores detectados en las posiciones y a las cotas de los pozos, que han llevado a que algunos no sean tenidos en cuenta en la calibración. Lo mismo sucede con algunos puntos donde se han medido concentraciones.

5.2 LÍMITES DEL MODELO Y CONDICIONES DE CONTORNO

DOMINIO ESPACIAL DEL MODELO

Los límites de cualquier modelo no se pueden definir de manera arbitraria, sino que deben estar condicionados por la geometría y extensión de los acuíferos (definición geológica), por aspectos geomorfológicos y de usos del territorio, por conocimiento de los acuíferos y disposición de datos y en ocasiones, por límites administrativos.

Las condiciones de contorno correspondientes a los límites del modelo son aquellas que permiten asignar las condiciones físicas reales o supuestas a los límites del modelo. Normalmente se pueden diferenciar condiciones de nivel fijo, donde el nivel piezométrico y sus posibles variaciones son suficientemente bien conocidas, y las de caudal fijo cuando es el flujo lo que se puede llegar a cuantificar. En todo caso, conviene considerar también las condiciones mixtas (goteo) en las que se fija una relación lineal entre el nivel en el acuífero y el flujo que atraviesa el contorno.

En el caso del modelo objeto de este trabajo se han definido los siguientes contornos (Figura 21):

- NIVEL FIJO

De éste tipo de contorno se han definido los aluviales de los ríos Añamaza, Val y Queiles en donde los ríos han erosionado la propia divisoria de aguas general de la zona de estudio y las cotas de los propios ríos. Se considera que los ríos en ciertos tramos están relacionados con el drenaje de los acuíferos considerados. Por eso hay que asignar una cota de referencia a cada uno de ellos que representa el nivel hidráulico en ese punto. Como la cota a lo largo del río y los arroyos es variable asigna mediante un campo de cotas variable que se extrae del MDT de la zona de estudio. El grado de conexión hidráulica entre ésta masa de agua y el acuífero se establecerá en función de la condición de goteo que a continuación se comentará.

- GOTEIO

Los ríos y los aluviales tienen un tratamiento propio debido a la influencia que este tipo de elementos tienen en el comportamiento hidrogeológico del sistema. En estas situaciones las entradas o salidas de agua en el acuífero son función de la diferencia de niveles entre el elemento y el acuífero, de modo que se pueden escribir como:

$$q = \alpha(h - H)$$

donde q es el caudal por unidad de longitud tanto de salida ($q < 0$) como de entrada ($q > 0$) en el acuífero, H es la cota de la lámina libre de agua en superficie, α es el coeficiente de goteo, h es el nivel piezométrico en el acuífero. Un valor alto de α supone una buena conexión hidráulica (h cercano a H).

Para aplicar esta condición (condición mixta) es necesario definir cuál es la cota del río en cada nudo de la malla en que se aplica esta condición y un parámetro de zona α que será el que calibrará el modelo, los valores previos calculados aplicados al modelo se pueden ver en el apartado de Resultados de la Calibración.

- CAUDAL FIJO

Se ha aplicado la condición de Caudal Nulo en las divisorias de la Sierra del Tablado-Toranzo, Sierra de Alcarama-Castilruiz y la Sierra del Moncayo. Es la opción por defecto. Aparte han asignado específicamente una zona de caudal nulo para el contacto con los materiales paleozoicos a lo largo de la Falla del Tablado.

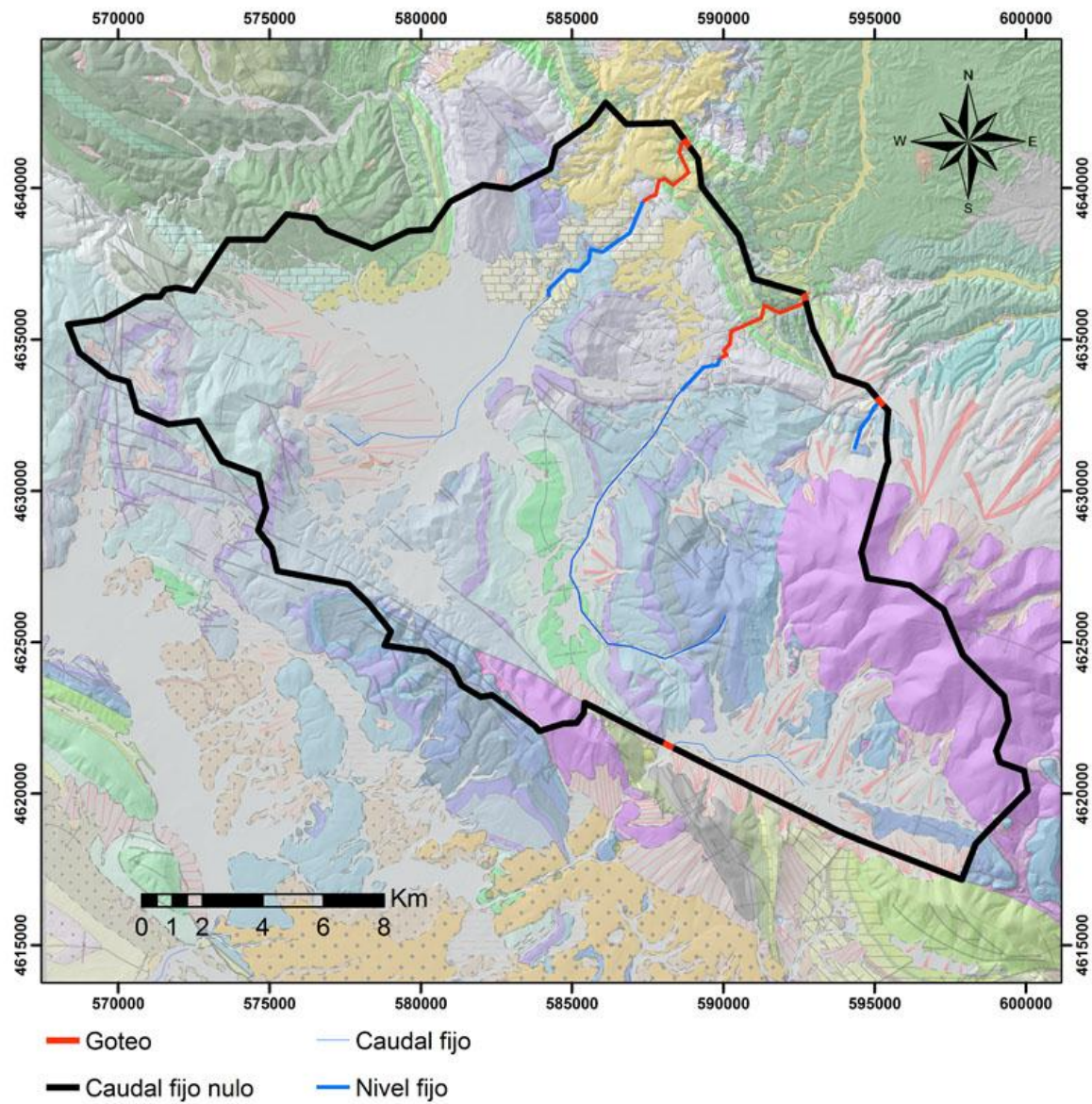


Figura 21. Contornos del modelo numérico.

5.3 PARÁMETROS ZONALES

- ZONAS DE TRANSMISIVIDAD

La transmisividad se ha tratado en el modelo como constante por zonas. Aunque se sabe que T es muy variable, incluso en zonas con un aspecto homogéneo, este tratamiento permite reproducir los rasgos más significativos de la piezometría a partir de unos parámetros representativos de cada zona, los cuales presentan un grado de incertidumbre relativa no muy elevada.

La separación de zonas se ha hecho atendiendo a los siguientes criterios:

- Geología. Se tiene en cuenta que el nivel acuífero consiste en materiales carbonatados caracterizados por una geometría en rampa y en consecuencia espesores de las diferentes capas relativamente constantes.
- Los valores puntuales obtenidos con la interpretación de los ensayos hidráulicos y revisión de los datos existentes.

El número total de zonas de transmisividad que se han considerado es de 5. Concretamente, una para los materiales en “facies Buntsandstein”, otra para el Keuper, para el Lias Inferior, Lias Superior y otra para el Dogger-Malm. En la Figura 22 se representan todas las zonas de transmisividad utilizadas en el modelo numérico.

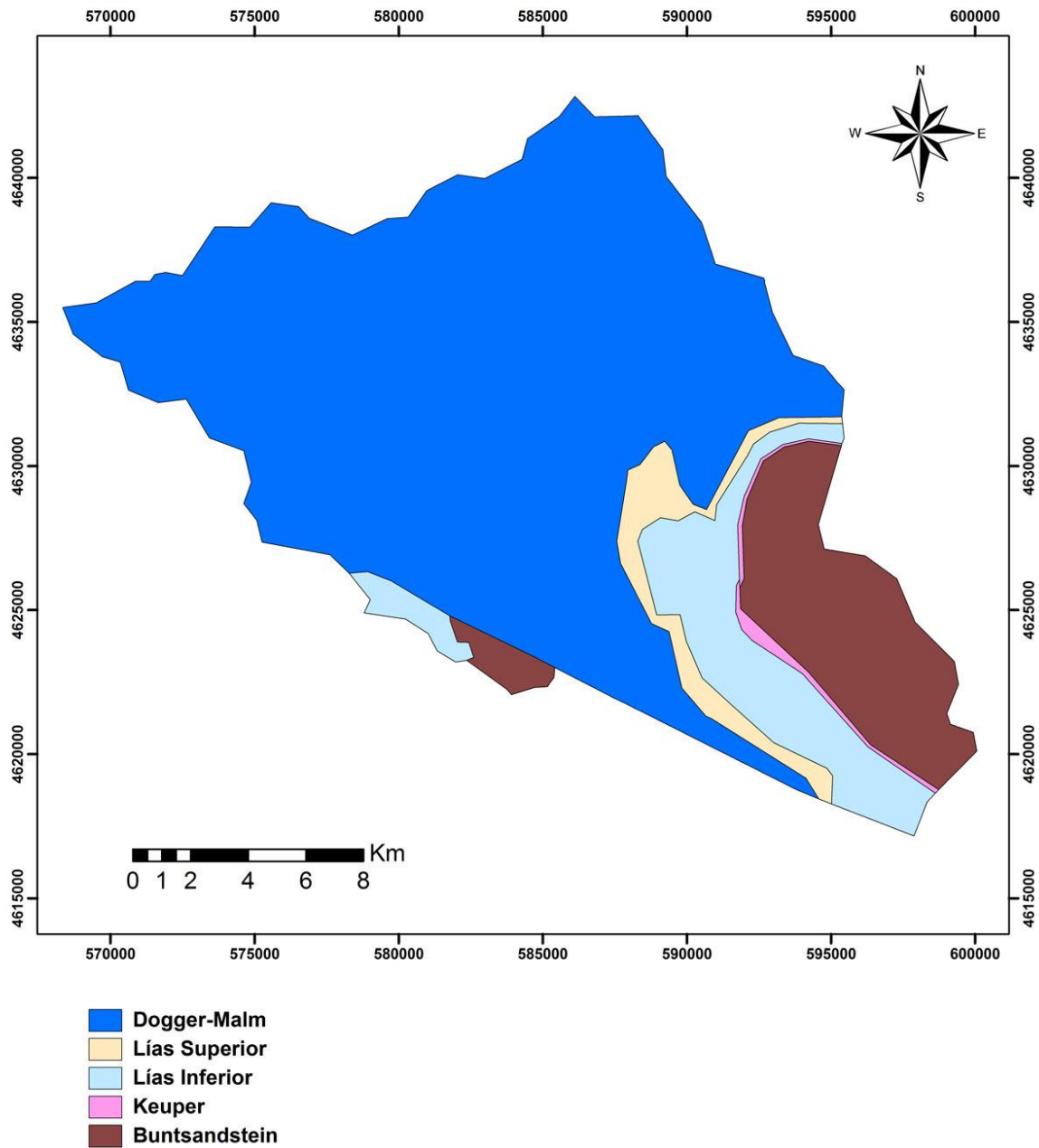


Figura 22. Zonas de transmisividad del modelo.

- TRATAMIENTO DE LA RECARGA

Se introduce en el modelo como un valor de recarga por unidad de superficie. En total se ha dividido el modelo en 6 zonas de recarga (Figura 23).

Los valores de información previa de recarga que se han introducido en el modelo quedarán representados en la Tabla 2. (En el apartado de Resultados de Calibración).

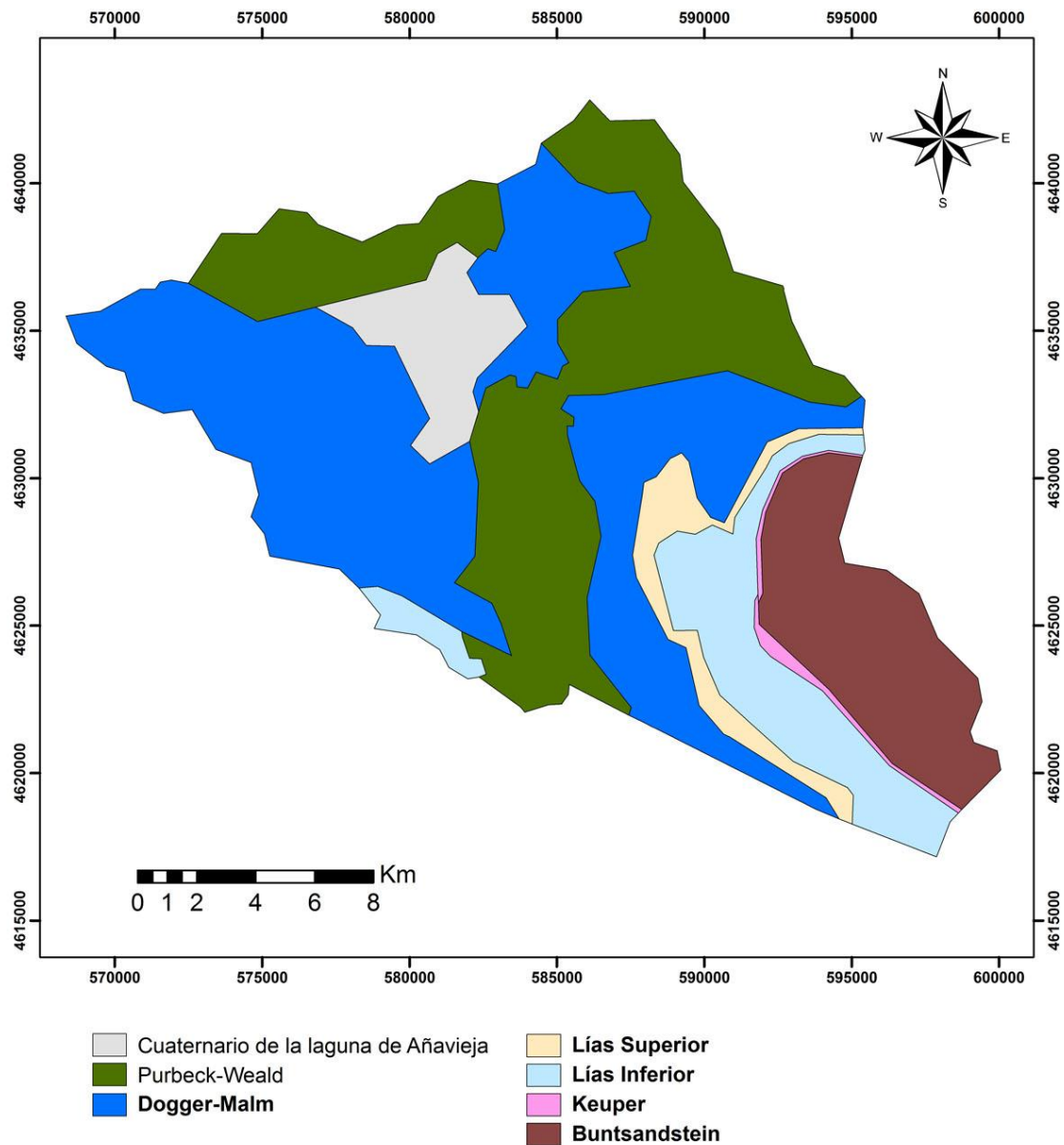


Figura 23. Zonas de Recarga.

Figura 2. Valores de recarga utilizados.

Area [m ²]	ZONA	Recarga [m ³ /m ² ·año]	Recarga Hm ³ /año
5.47E+07	Buntsandstein	0.033	1.80450261
4.23E+07	Lías inferior	0.163	6.89639262
1.48E+07	Lías superior	0.066	0.97371712
1.49E+08	Dogger-Malm	0.10	14.8882453
2.47E+07	Purbeck-Weald	0.066	1.62930481
8.76E+07	Oeste	0.066	5.78252727
2.11E+07	Purbeck-Weald Norte	0.066	5.78252727
	Cuaternario	0.043	0.90676173
	Laguna		

5.4 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL

La discretización supone dividir el dominio en una serie de elementos o celdas que cubran la totalidad del propio dominio sin solaparse. El método de los elementos finitos resuelve la ecuación de flujo de agua subterránea en los vértices de los elementos, y dentro de cada uno de los elementos interpola linealmente. El error cometido es muy pequeño si el tamaño del elemento es pequeño en relación con la variabilidad de la función interpolada (en este caso los niveles). Por otra parte tampoco hay que hacer elementos demasiado pequeños ya que conducirán a un aumento del tiempo de cálculo.

En este caso se ha dividido la superficie del dominio en 3221 nudos y 7103 elementos triangulares (Figura 24). Estos elementos son más pequeños, del orden de 200 m, en las zonas en las que ha sido necesario representar la geometría con más detalle con el fin de acotar las zonas con margen de error moderado. El tamaño medio de los elementos es de unos 500-700 metros. Sin embargo, el tamaño de los elementos es mayor hacia el oeste unos tamaños de 1000 m. Este número da una idea sobre el máximo grado de precisión que se puede obtener.

La generación de la malla se ha hecho en VISUALTRANSIN (interfaz gráfica de TRANSIN), siguiendo los siguientes criterios:

- La malla se adapta a los contornos.
- La malla se adapta a las zonas delimitadas previamente (que se utilizan posteriormente para delimitar las zonas de los diferentes parámetros: T, S, R, etc).
- La malla se adapta a los elementos singulares (por ejemplo los ríos.). En general casi todos los acuíferos existentes a nivel de detalle podrían considerarse como acuíferos multicapa, ya que en su mayoría están formados por diferentes formaciones geológicas con varios niveles o capas de composición heterogénea (calizas arrecifales porosas, con mayor contenido en terrígenos, etc.). A pesar de estas diferencias texturales, normalmente existe un alto grado de conexión hidráulica que hace que las posibles pérdidas de carga debido a

estos motivos sean relativamente pequeñas, y por tanto a la escala regional que se realiza la modelización del flujo los errores en los niveles calculados debido a estos factores puedan considerarse pequeños y asumibles para los objetivos planteados.

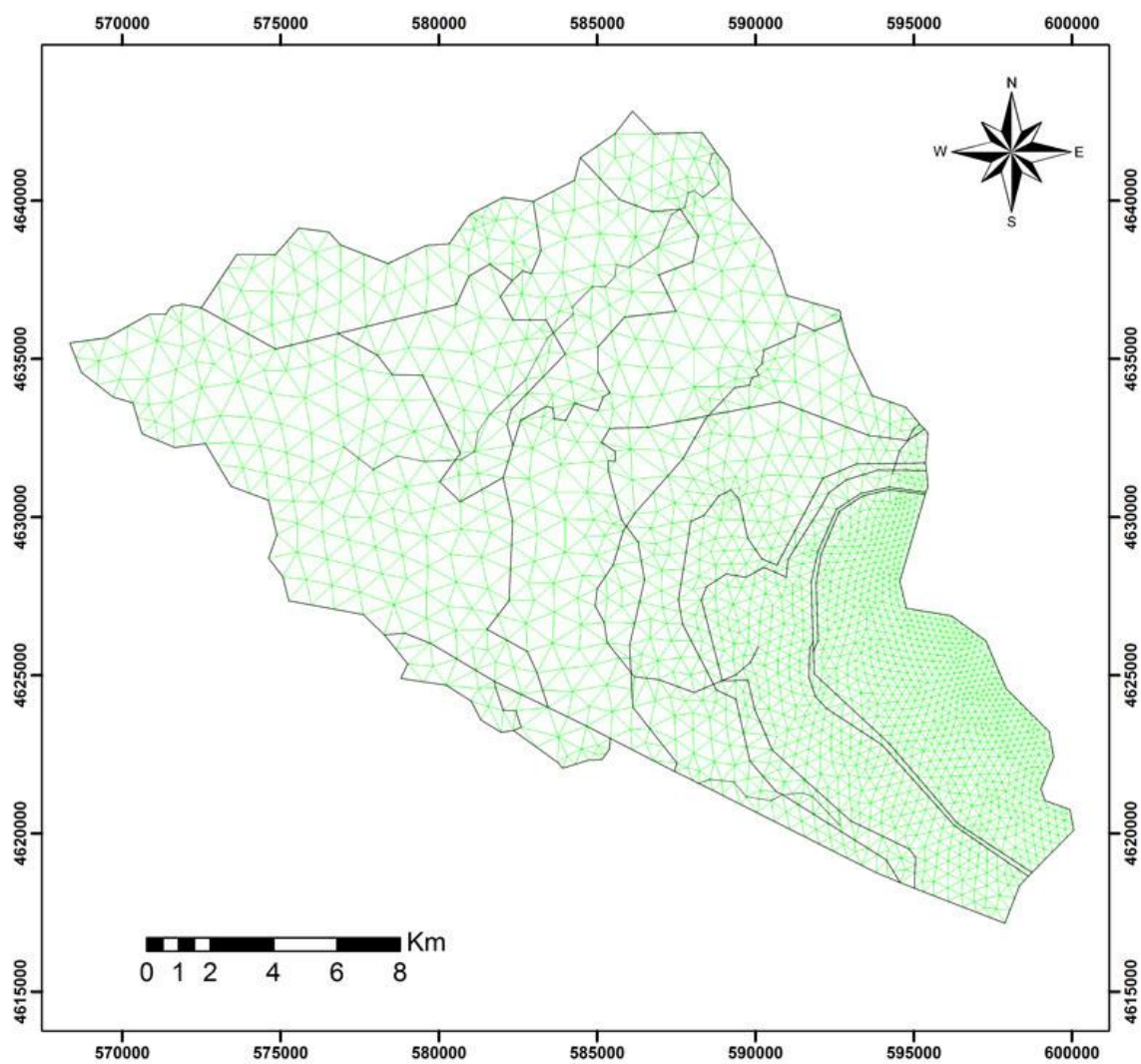


Figura 24. Malla del Modelo.

5.5 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

• TRANSMISIVIDAD

La Tabla 3 muestra los valores de transmisividad calibrados por el modelo. En este sentido cabe destacar que, durante la calibración, a la información previa (modelo conceptual en el anexo) se le añade como dato la desviación tipo del parámetro, lo que permite acotar los márgenes de variación permitidos en calibrar. Así, para lugares donde determinado parámetro es bien conocido, la incertidumbre asociada al mismo será pequeña y también lo será la desviación. Lo contrario ocurrirá cuando exista escasez o ausencia de datos. Con todo cabe aclarar que, la conductividad hidráulica es uno de los parámetros físicos de la naturaleza que varía en más órdenes de magnitud, y que su variabilidad espacial (incluso en medios porosos "homogéneos") es grande. Los rangos con los que se ha acotado la transmisividad del Lías inferior ha sido insuficiente y se bajado la transmisividad hasta $271\text{m}^2/\text{día}$ sin que se pudiese encontrar una solución aceptable para un valor próximo a los $1000\text{-}2000\text{ m}^2/\text{día}$.

Tabla 3. Valores calibrados de transmisividad.

Zona	Transmisividad [$\text{m}^2/\text{día}$]
Lías inferior	271.41926
Lías superior	2.7799421
Dogger-Malm	707.62811
Keuper	0.2056094

5.6 BALANCE DE MASAS

En la Tabla 4 muestra el balance de masas global modelado en términos de valor medio anual. Los valores positivos indican entradas al sistema mientras que los negativos indican salidas. Se puede observar que las descargas son muy satisfactorias con las esperables por datos bibliográficos. Para ver mas resultados, véase el informe reducido de VISUALTRANSIN en el informe del anexo.

Tabla 3. Balance de masas global por zonas

ZONA	Hm3/año	L/s	Bibliografía[L/s]
DS2	-1.22609705	-38.8792824	
DS3	-2.4340536	-77.1833333	
Río Queiles (Manantial de Vozmediano)	-16.200306	-513.708333	500-800
Zona de manantiales del río Añamaza	-8.4781105	-268.83912	240
Zona de manantiales del Río Val	-4.683534	-148.513889	150

5.7 NIVELES PIEZOMÉTRICOS CALCULADOS

Los ajustes entre los valores medidos y calculados se consideran relativamente satisfactorios para una primera aproximación (Figura 25). En general la variabilidad temporal y sus aptitudes en las oscilaciones suelen reproducir en casi todo el rango modelado.

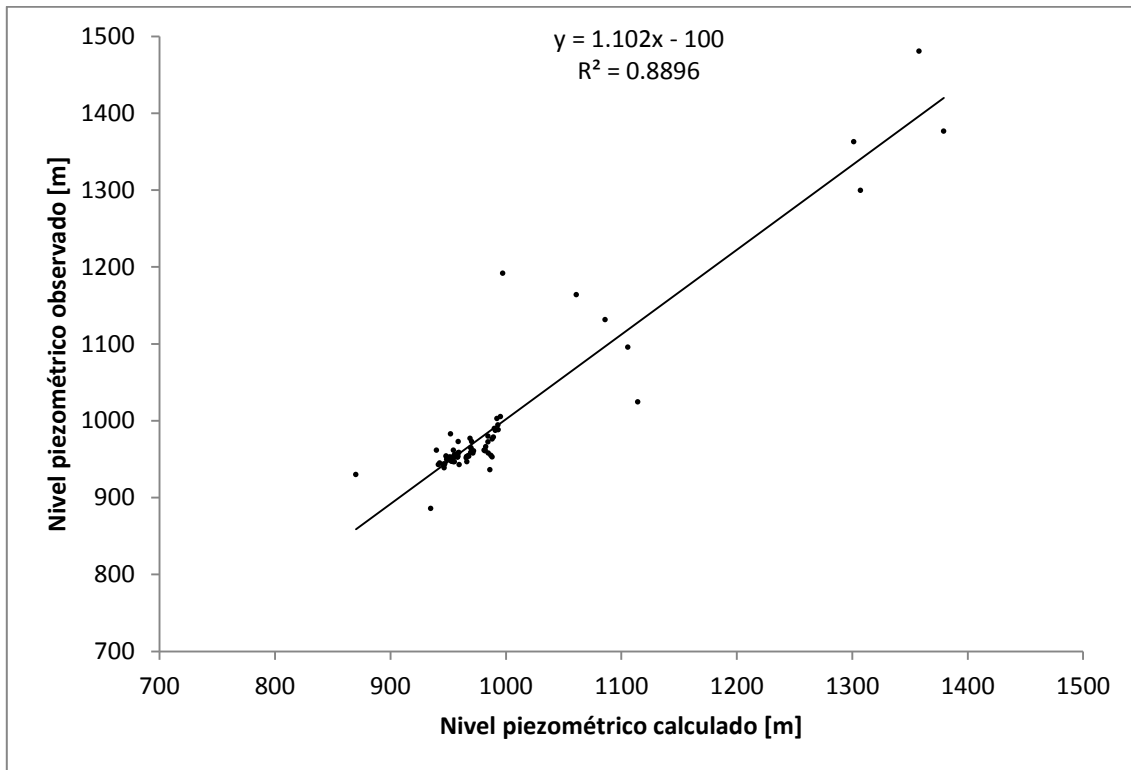


Figura 25. Niveles calculados vs medidos.

Las Figuras 26 y 27 son respectivamente el mapa de errores (niveles medidos versus nivel calculado) y la contribución de cada pozo a la función objetivo. Estos mapas facilitan la valoración global del grado de ajuste que ha alcanzado la calibración del modelo. Se puede apreciar que, para la escala del modelo, los ajustes obtenidos son buenos.

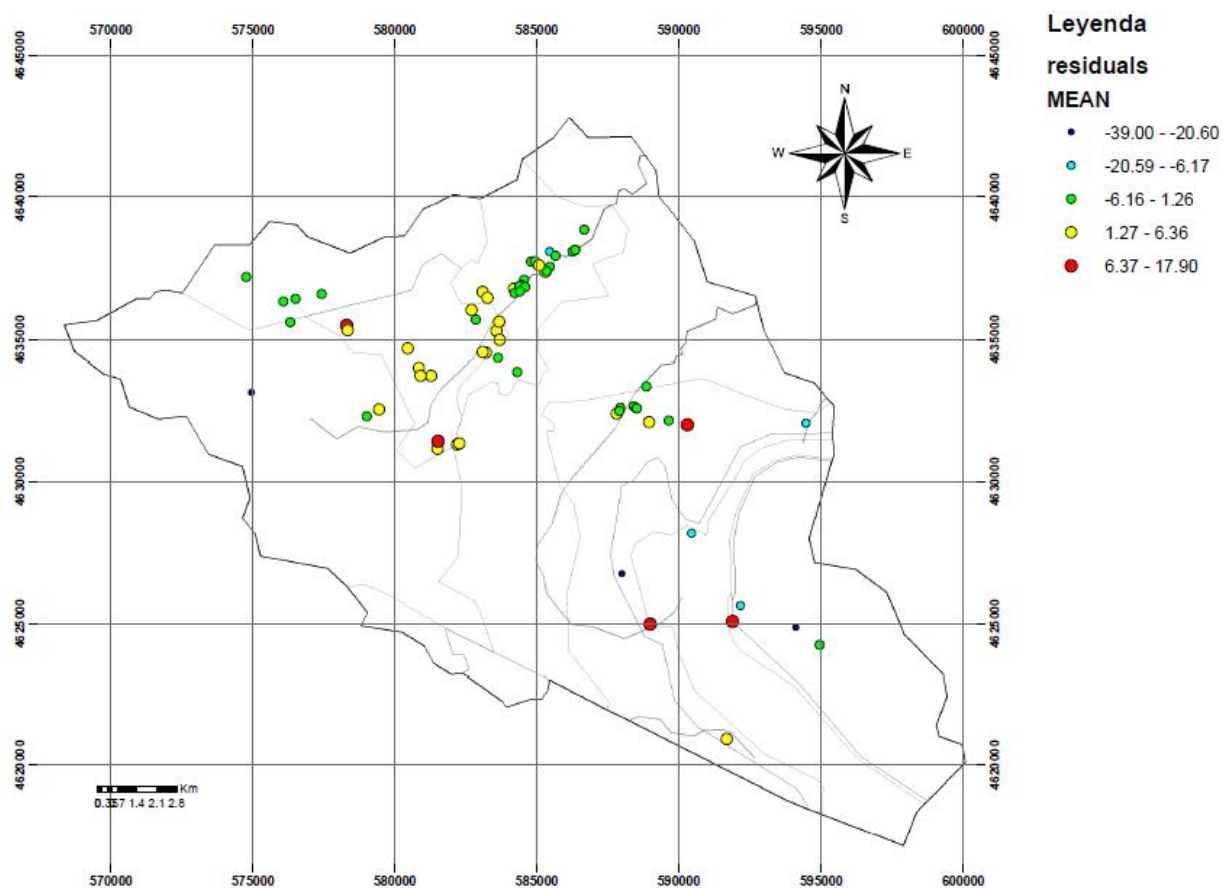


Figura 26. - Mapa de error en promedio entre los niveles calculados y medidos de cada punto de observación. Los residuos están en metros.

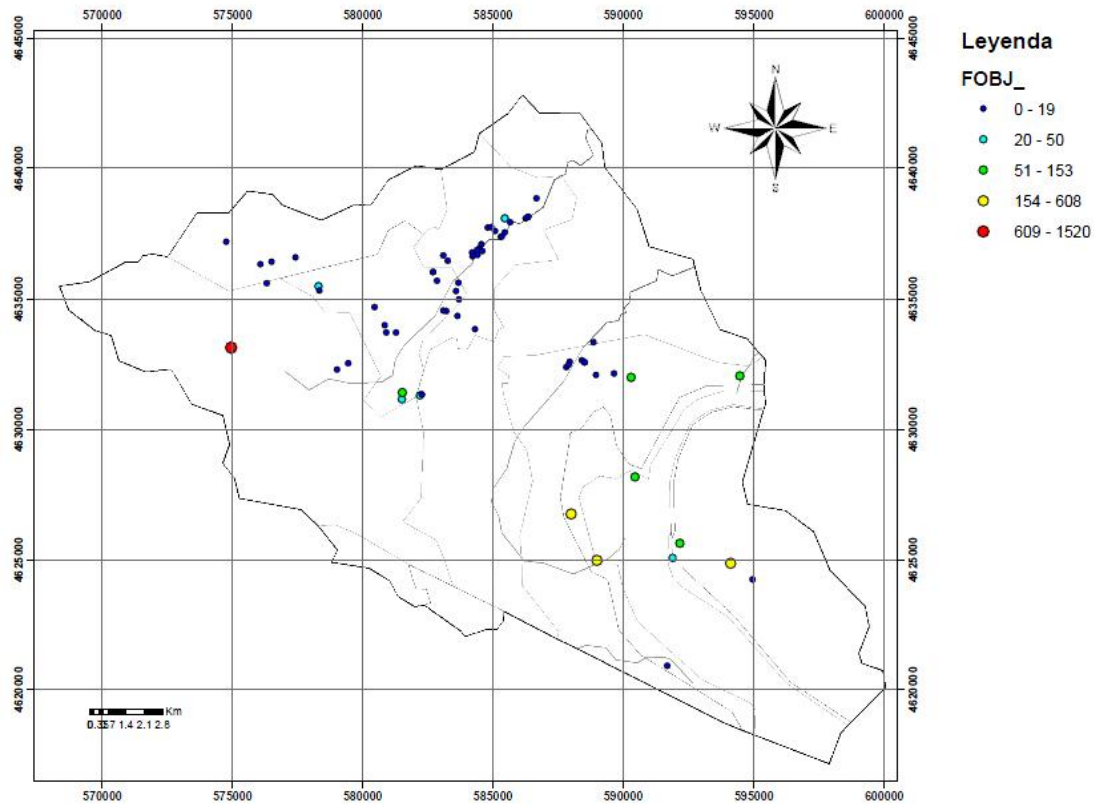
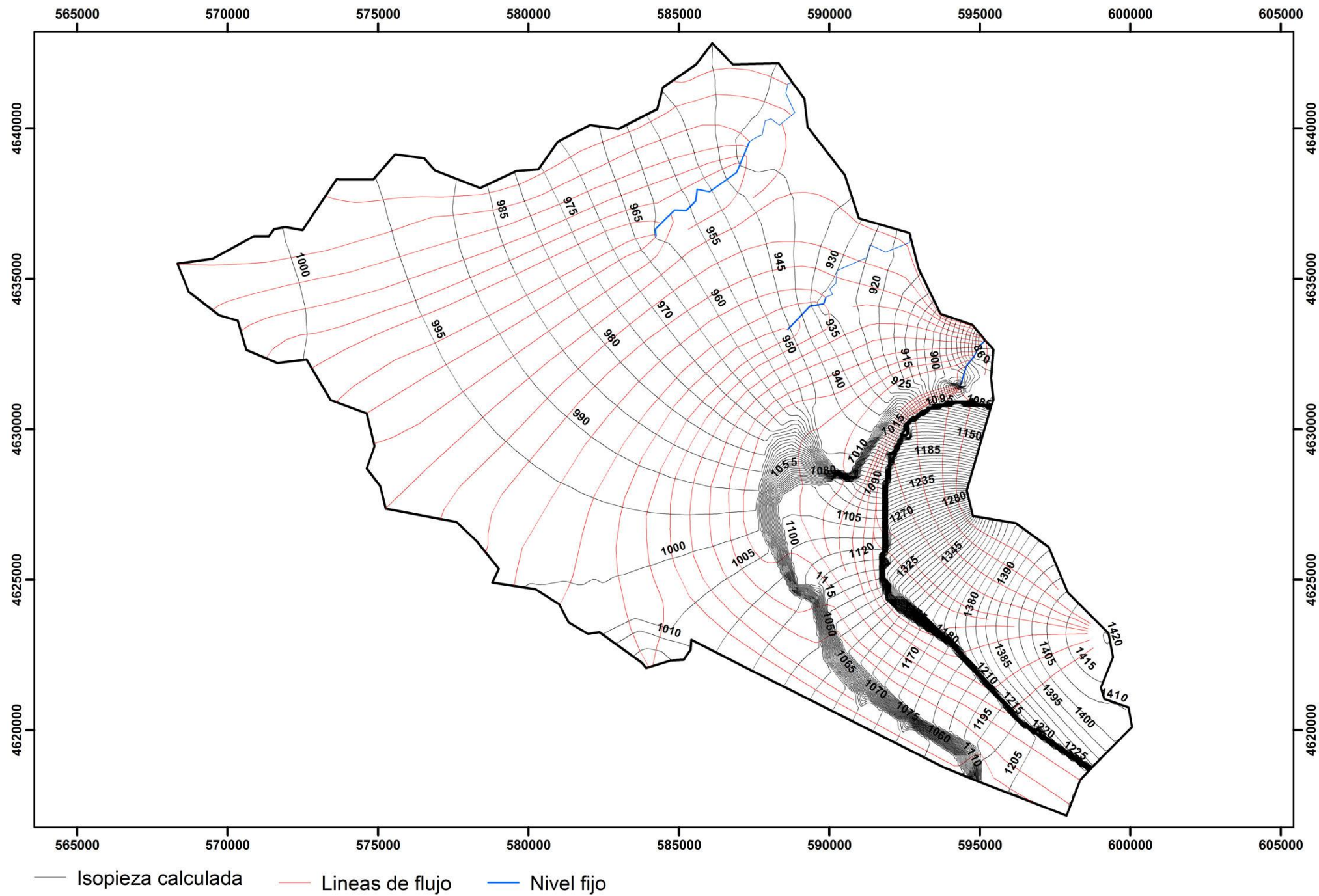


Figura 27. Contribución a la función objetivo de cada punto de observación de niveles.

Para apreciar la distribución espacial de la piezometría se representa el mapa piezométrico calculado (Figura 28).



6.HIDROGEOQUÍMICA

En este apartado se pretende describir la composición química del agua subterránea y los posibles procesos existentes que condicionan su evolución en el acuífero.

6.1. Metodología

La toma de muestras químicas se realizó del 22 al 26 de junio de 2011. Se han tomado 16 muestras y sus correspondientes medidas de parámetros físico-químicos in-situ; de pH, conductividad eléctrica y temperatura (Tabla A1 en el anexo) intentando recoger muestras de las principales zonas de descarga. Las muestras se han tomado en botellas de plástico (polipropileno) de 150 ml proporcionadas por el laboratorio de destino. Tras su homogeneización con el propio agua a muestrear se cierran herméticamente sin dejar aire dentro. Se etiquetaba la botella con un código único irrepetible y la toponimia del punto de muestreo. Además se etiquetaba la fecha y el nombre del proyecto general. Después del etiquetado se procedía al almacenamiento en una nevera portátil en el vehículo de desplazamiento y después en una nevera refrigerada fija hasta su envío al laboratorio. La medida de alcalinidad se realizaba en el laboratorio antes de las 24 horas posteriores al muestreo. El laboratorio encargado de los análisis pertenece al departamento de calidad de aguas y control ambiental de CAASA Tecnología del Agua S.A. La toma de muestras de sondeos se realiza directamente del pozo mediante un *bailer* intentando renovar el máximo posible el agua de la entubación. Cada punto de muestreo fue situado en la ortofoto PNOA y se realizó un pequeño esquema, además de rellenar las fichas del inventario de puntos de agua.

Durante la campaña de campo se utilizó un medidor impermeable de pH, conductividad eléctrica y temperatura HANNA HI98129. Se procedió a su calibrado al inicio y a mitad de campaña; la conductividad con una solución patrón de 1.413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el pH con sólo con un puto en la recta de calibrado, solución buffer 7.01 HI 50007.

Para el resto de puntos situados fuera de la zona de descarga se ha utilizado la base de datos IPA de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Tabla A5 en el anexo).

6.2. Descripción de los datos obtenidos

Los resultados obtenidos han sido representados en los diagramas de Piper (Figura 29) y de Stiff (Figura 30). En el diagrama de Piper se pueden observar las siguientes facies hidroquímicas:

Facies 1, Facies bicarbonatadas-cálcicas: comprende las muestras 241360012 y 241370020. El primero es un puto en la zona de recarga al Sur, en la Sierra del Toranzo y el segundo es un manantial (Fte. De la Inés) cerca de Dévanos, se trata de una surgencia en las calizas tobáceas del Mioceno que actúa también como fuente de recarga al acuífero jurásico pero que en ocasiones da surgencias de este tipo, por lo tanto también es agua con un origen poco mineralizado y que sólo ha interaccionado con calizas.

Facies 2, Facies Bicarbonatadas-Sulfatadas Cálcicas, son las muestras 241370017, 24138001, 241370002, 241370045, 241370038, 241370034, 241370035, 241370031, 241370006, 24138002, 241370007. A esta facies le corresponden la mayoría de los puntos del Jurásico marino de la zona de Añavieja y Ágreda, además de Vozmediano, por lo tanto las principales zonas de surgencia presentan una composición química similar. El punto 241380001 corresponde con el manantial de Vozmediano, un manantial con un caudal de 500-1200 L/s que claramente representa una salida del aparato kárstico con pequeños tiempos de residencia del agua subterránea. El carácter sulfatado podría proceder de la interacción con yesos del Keuper ya sea de forma subterránea durante el trayecto de escorrentía superficial que acaba siendo recargada en algún sumidero del polje del Araviana. La muestra 241389001 corresponde a un manantial en Fuentes de Ágreda y es la muestra menos sulfatada y con contenido en calcio igual que el manantial de Vozmediano, posiblemente se trate de una muestra con tiempo de residencia intermedio, curiosamente las líneas de flujo del mapa de isopiezas calculado por el modelo numérico que pasan por Fuentes de Ágreda no se recargarían en una zona que pasase por Keuper y explicaría su bajo contenido en sulfatos.

Por otro lado la muestra 241380013 presenta una composición sulfatada cálcica, se trata de la Fte. de la Dehesa, una fuente sulfhídrica que por su bajo caudal parece estar relacionada con la oxidación de piritas existentes en sedimentos ricos en materia orgánica por aguas superficiales.

Las muestras procedentes de travertinos (241370001, 241370003 y 241370008) y las del Purbeck-Weald (241330022, 241360001, 241360004 y 241360014) también pertenecerían a las Facies Bicarbonatadas-Sulfatadas Cálcicas pero con contenidos mayores en Mg. Entre ellas las muestras de travertinos son ligeramente más cálcicas que las del Purbeck-Weald y éstas mas sulfatadas relativamente.

Las muestras procedentes del cuaternario presentan composiciones intermedias entre las antes citadas pero con mayores contenidos en Cl, Na y K, posiblemente a mezclas de aguas y contaminación por fertilizantes por el cultivo sobre estos materiales.

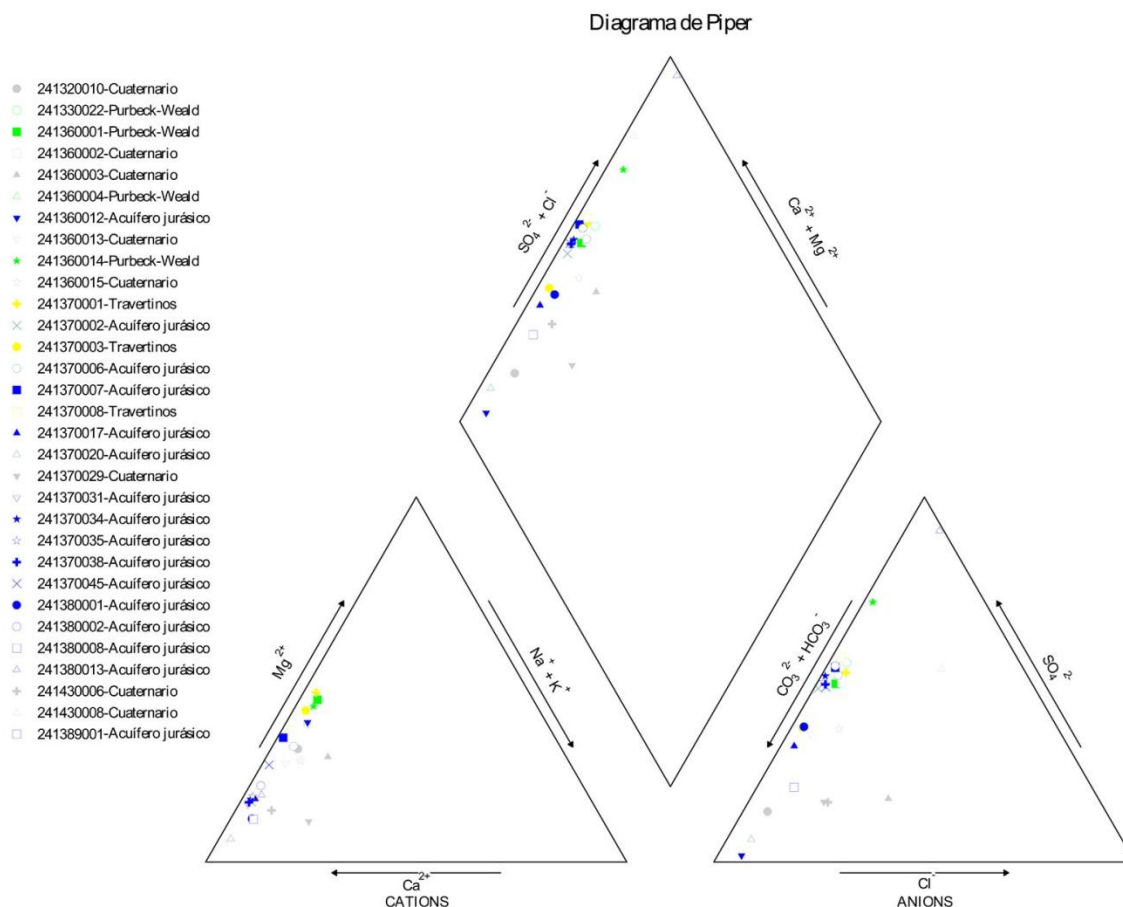


Figura 29. Diagrama de Piper.

Los diagramas de Stiff (Figura 30) muestran las mismas facies hidroquímicas que se observan en el diagrama de Piper pero se relacionan mucho mejor con la geología y las concentraciones relativas. Se puede observar que al noreste en la zona de añavieja las muestras son bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas dando una morfología característica que se repite en Ágreda (zona centro oriental) y Vozmediano con una morfología análoga pero de menor mineralización.

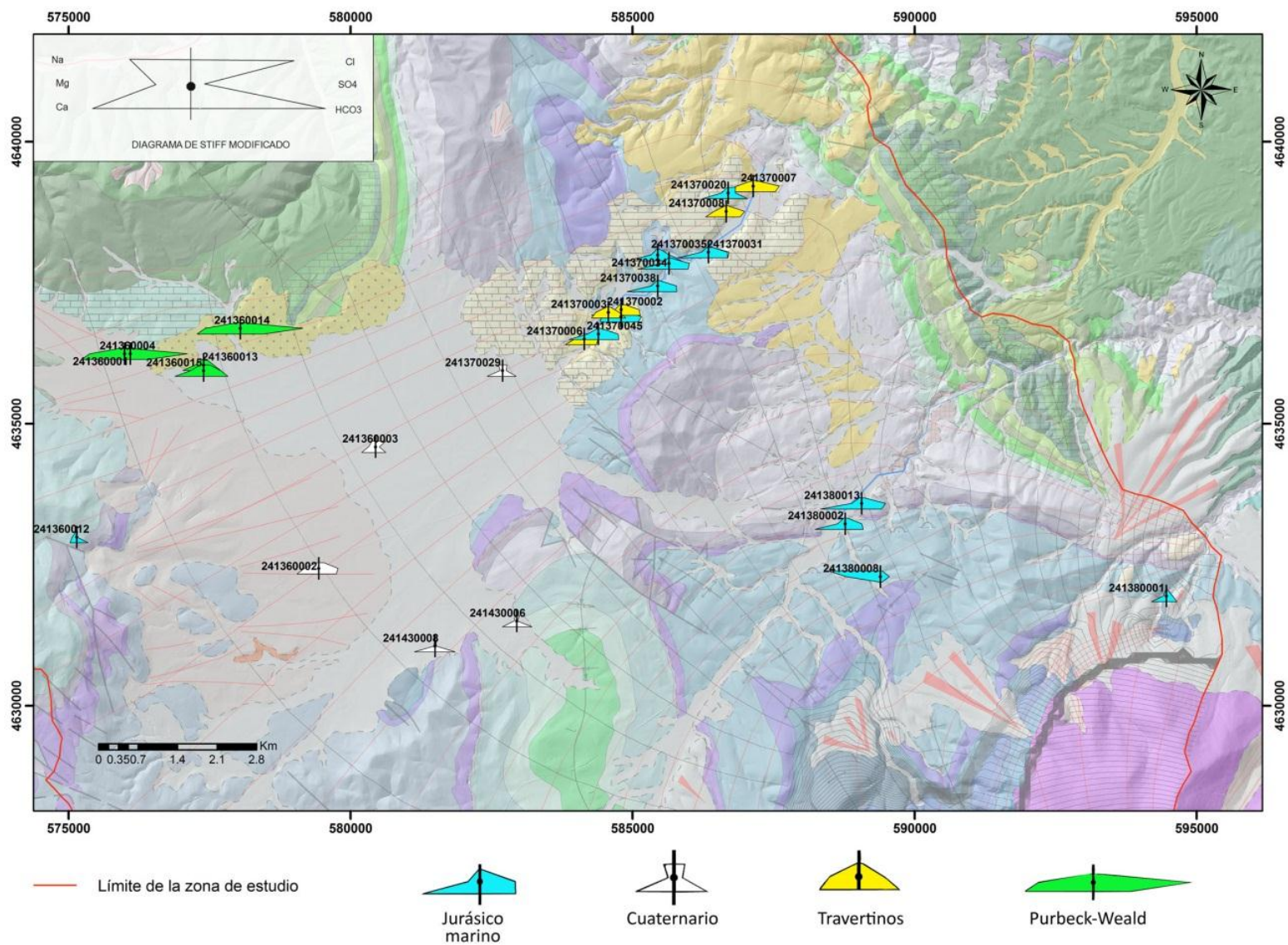


Figura 30. Diagramas de Stiff.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Ante un modelo conceptual se aplicó un modelo matemático de flujo que es consistente con las medidas de nivel observadas así como un balance hídrico validado por los caudales base de los manantiales y ríos.

Este modelo matemático pone en evidencia una divisoria de aguas subterráneas entre los manantiales de Añavieja y Ágreda, dejando la zona de recarga de la Laguna de Añavieja al margen del macizo del Moncayo, lo que confirma el modelo conceptual de Coloma (1999)... El drenaje del Moncayo se realiza preferentemente a través de las calizas del Lías inferior por el manantial de Vozmediano, y también a través de las calizas del Jurásico Medio-Superior por los manantiales de Ágreda.

Durante el desarrollo de este trabajo se ha constatado que la utilización de bases de datos georeferenciadas acopladas a la modelización numérica es una herramienta muy eficiente para la investigación en hidrogeológica. Permitiría hacer modelos mucho más complejos y extensos con un esfuerzo no muy superior. Además de reproducir matemáticamente el flujo del agua permite simular diferentes escenarios tanto pasados como futuros.

El modelo matemático advierte de problemas para su calibración en zonas próximas al Macizo del Moncayo donde están los mayores gradientes y hay menor densidad de medidas de nivel piezométrico. Esto puede indicar que el aparato kárstico está especialmente desarrollado en la zona de las carniolas, lo cual nos lleva a pensar en una zona del karst donde el flujo deja de ser difuso y los conductos kársticos tienen una mayor relevancia.

Una vez calibrado el modelo se ha realizado a modo de prueba varias simulaciones con diferentes escenarios, así se ha simulado la existencia de una lámina de agua fija en la Laguna de Añavieja (laguna no drenada), lo que provoca un cambio relevante en las líneas de flujo y en los caudales fluyentes (Figura 31).

Otro escenario posible es aquel en el que el manantial de Vozmediano no existiera (Sanz (1987) hace referencia a un caudal nulo durante un tiempo tras un evento sísmico notorio en todo el pueblo, hecho que hace manifiesto la participación de fallas en la estructura del sistema kárstico o incluso que un fenómeno sísmico determine si éste es funcional o no). En este supuesto (Figura 32), el caudal de salida por los manantiales de Ágreda es notablemente superior (484 L/s). Otro escenario sería la inexistencia de los manantiales de Ágreda y Vozmediano y que la laguna de Añavieja recibiese toda la descarga del Moncayo (Figura 33).

La simulación de escenarios trata únicamente de mostrar las posibilidades que la metodología utilizada tiene en cuanto a explicar registros sedimentarios observados y datados en la zona.

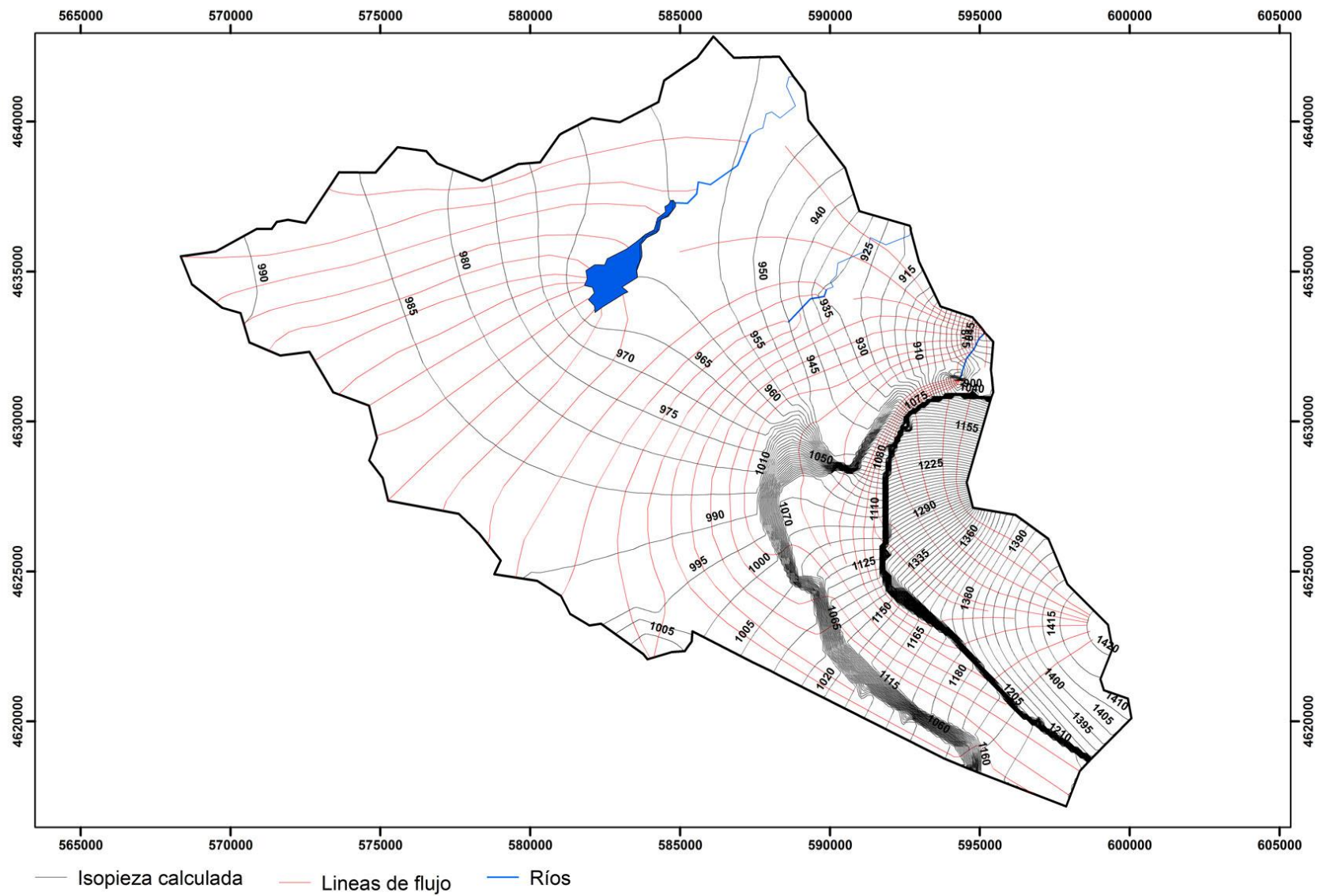


Figura 31. Mapa de isopiezas con la laguna de Añavieja funcional.

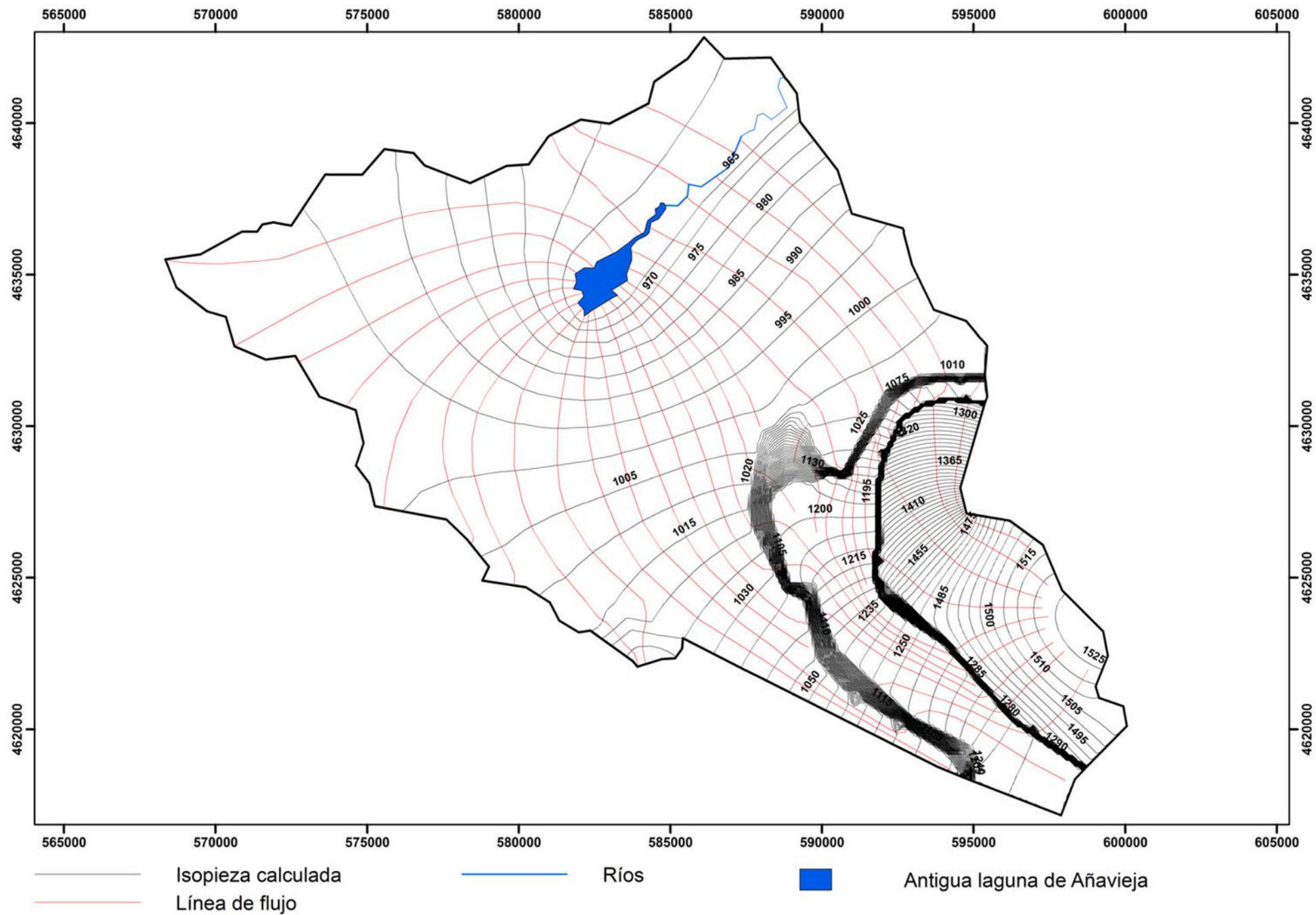


Figura 33. Mapa de isopiezas con la laguna de Añavieja como única zona de descarga.

8. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directores, José Ángel Sánchez Navarro y Antonio Pérez García por embarcarme en esta apasionante empresa. Quiero dar las gracias a Enric Vázquez-Suñé por su continuo apoyo a lo largo del proceso de modelado.

Este trabajo ha sido financiado, en parte, por el proyecto de MICINN: CGL2009-09165BTE, Fondo Social Europeo y Grupo de Análisis de Cuencas Sedimentarias Continentales del Gobierno de Aragón.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, A., Mas, J.R., 1988. La transgresión Aptiense al sur del Moncayo (límite de las provincias de Soria y Zaragoza). *II Congr. Geol. De Esp.*, (1), 11-14. Granada.
- Arribas, J., 1985. Base litoestratigráfica de las facies Buntsandstein y Muschelkalk en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (zona norte). *Est. Geol.*, (41), 47-57.
- Bayo, A., Castiella, J., Custodio, E., Niñerola, S., Virgos, L., 1986. Ensayo sobre las diversas tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España. Identificación, técnicas de estudio y formas de captación y explotación. *Jornadas sobre el karst*. Euskadi-86. San Sebastián, (2), 255-340.
- Carrera, J., Neuman S.P., 1986. Estimation of aquifer parameters under transient and steady-state conditions, 1. Maximum likelihood method incorporating prior information. *Water Resour. Res.*, 22(2) , 199-210.
- Castiella, J., Del Valle, J., 1977. Mapa Geológico de España. *E 1:50.000*. Hoja nº 320: Tarazona. I.G.M.E.
- Coloma, P., 1995. Estudio hidrogeológico de la Cuenca del río Alhama. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza, 1-175.
- Coloma, P., Martínez Gil, F.J., Sánchez Navarro, J.A., 1995b. Caracterización hidroquímica del Drenaje Subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 20, 171-178.
- Coloma, P., Sánchez Navarro, J.A., Martínez Gil, F.J., 1995a. El Drenaje Subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro (sector riojano). *Geogaceta*, (18), 68-71.
- Coloma, P., 1999. Funcionamiento hidrogeológico de las cuencas riojanas orientales: Iregua, Leza, Cidacos y Alhama (Cuenca del Ebro). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Instituto de Estudios Riojanos. 506 p.
- Gil. Imáz, A., Pocoví, A., 1994. La esquistosidad alpina del extremo NW de la Cadena Ibérica Oriental (Sierra del Moncayo): Distribución, génesis y significado tectónico. *Rev. Soc. Geol. España*, (7), 91-113.
- Gil Imaz, A., 2001. La estructura de la Sierra de Cameros: Deformación dúctil y su significado a escala cortical. Tesis Universidad Zaragoza. *Instituto de Estudios Riojanos*. 305 p.

- Gómez, J.C., 1992. Análisis de la Cuenca sedimentaria de los Cameros durante sus etapas iniciales de relleno en relación con su evolución paleogeográfica. Tesis Universidad Complutense de Madrid. 343 pp.
- Gómez, J.C., Meléndez, N., 1994. Estratigrafía de la “Cuenca de los Cameros” (Cordillera Ibérica Noroccidental, Norte de España) durante el tránsito Jurásico-Cretácico. *Rev. Soc. Geol. España*, (7), 121-139.
- Goy, A., Gómez, J.J., Yébenes, A., 1976. El Jurásico de la Cordillera Ibérica (Mitad Norte): I Unidades litoestratigráficas. *Est. Geol.*, (32), 391-423.
- Hernández, A., Aragonés, E., Del Olmo, J., Aguilar, T.M., Ramírez del Pozo, J., 1980. Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja nº 352: Tabuena. I.G.M.E.
- I.G.M.E., 1960. Investigación de las aguas en la zona de Añavieja (Soria). (inédito)
- Lozte, F., 1929. Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges. *Abh. Ges. Wiss. Göttingen, mathematisch-physikalische Klasse, n. F.*, 1-320.
- Lozte, F., 1961. El Cámbrico en España. *Memoria del Instituto Geológico y Minero de España*, (8), 315 pp.
- Martín, M., Esnaola, J.M., 1973. Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. Hoja nº 351: Ólvega. I.G.M.E.
- Mas, J.R., Alonso, A., Guimerà, J., 1993. Evolución tectonosedimentaria de una cuenca extensional intraplaca: la cuenca finijurásica-eocretácica de Los Cameros (La Rioja-Soria). *Rev. Soc. Geol. España*, (6), 129-144.
- Medina, A., Galarza, G., Carrera, J., 1996. TRANSIN-II. Fortran code for solving the coupled flow and transport inverse problem in saturated conditions. *Topical report hydrogeological modelling and code development*. El Berrocal Project, Volume IV, edited by ENRESA.
- Palacios, P., 1890. Descripción física, geológica y agrológica de la provincia de Soria. *Comisión del Mapa Geológico de España*. Madrid.
- Pérez Bielsa, C., 2005. Estudio hidrogeológico de los acuíferos del entorno de la laguna de Añavieja (Soria). Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Inédito.
- Quarch, H., 1967. Geologischen Kartherung bei Borobia in den Östlichen Iberischen Ketten (Nordost-Spanien). Diplomarbeit. Univ. Würzburg. 1-165.
- Rey J., Ribera, S., 1981. Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja nº 319: Ágreda. I.G.M.E.

Richter, G., 1930. Las Cadenas Ibéricas entre el valle del Jalón y la Sierra de la Demanda. Publ. Extr. *Sobre Geol de España*. Inst. Lucas Mallada, (9), 62-142.

Saavedra, E., 1853. Memoria descriptiva concerniente al proyecto de desecación de la Laguna de Añavieja y aprovechamiento de sus aguas en el riego. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Soria.

Sáenz, C., Sanz, E., 1989. La Laguna de Añavieja. I Encuentro sobre el Moncayo. Tarazona. *Turiaso*, (9), 225-243.

Salas, R., 1985. Depositional sequences and cycles of relative changes of sea level during Jurassic-Cretaceous time in the oriental Iberian and Catalan Ranges. *IAS Abstracts 6th European Regional Meeting*, 411-414.

Salas, R., 1989. Evolución estratigráfica secuencial y tipos de plataformas de carbonatos del interval Oxfordiense-Berriasiense en las Cordilleras Ibérica Oriental y costero catalana Meridional. *Cuad. Geol. Ibér.*, (13), 65-88.

San Román, F.J., 1990. Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Huecha (Zaragoza). Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza, 1-110.

San Román, F.J., 1994. Estudio hidrogeológico del interfluvio Queiles-Jalón (Zaragoza). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 1-265.

Sánchez Navarro, J.A., San Román, J., De Miguel, J.L., Martínez Gil, F.J., 1990. El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión del Ebro: Aspectos geológicos. *Geogaceta*, (8), 115-118.

Sánchez Navarro, J.A., San Román, J., De Miguel, J.L., Pérez, A., Martínez Gil, F.J., 1992. Isopiezas y direcciones de flujo regional en el acuífero carbonatado mesozoico del margen Ibérico de la Depresión del Ebro. *Geogaceta*, (11), 122-124.

Sáenz Pérez, E., 1987. El Karst del Sur y Oeste del Moncayo. MOPU. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Madrid. *Informaciones y Estudios*, (47), 1-164.

Sáenz Pérez, E., 1992. El karst de la Sierra de Neila (Burgos). V Simposio Nacional de Hidrogeología. Alicante, Marzo de 1992. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, (15), 83-96.

SGOP, 1990. Estudio Hidrogeológico de Soria. (inédito)

Tischer, G., 1965. Über die wealdien ablagerung und die Tektonik der ostlichen Sierra de los Cameros in den nord-westlichen Iberischen Ketten (Spanien). *Beith. Geol. Jb.*, (44), 123-164.

Tisher, G., 1966. El delta Wealdico de las montañas ibéricas occidentales y sus enlaces tectónicos. *Notas y Comuns. Ins. Geol. y Minero de España*, (81), 53-78.

TRAGASA, 2001. Estudio hidrogeológico para la mejora de la gestión de regadíos en la cuenca del río Manzano-Añamaza (Soria). Tomos I, II y III. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.

10. ANEXO

Tabla A1. Muestras químicas de las principales zonas de surgencia.

IPA	Cl	NH4	NO3	NO2	SO4	HCO3	B	Br	Ca	P	Fe	Mg	Mn	K	SiO2	Na	Cond	pH	Error [%]	IS Calcita	IS Dolomita	IS Yeso
241380002	6.53	0.02	10.95	0.02	232.78	252.09	0.09	0.07	149.56	0	0.03	23.99	0	0.98	9.7	5.07	759	7.85	2.1266	0.8388	1.2269	-
241380013	15.09	0.34	7.76	0.06	288.8	356.53	0.11	0.09	201.39	0	0.04	32.87	0.02	2.5	14.7	8.55	1003	7.34	8.98164	0.499	0.5539	1.0607
241389002	7.71	0.09	14.4	0.03	169.45	248.49	0.06	0.09	123.84	0	0.03	23.27	0	1.1	9.76	6.55	673	7.59	7.93455	0.4444	0.5073	0.9056
241389003	17.88	0.01	34.26	0	198.48	286.91	0.06	0.08	147.18	0.07	0.04	27.35	0	7.08	14.17	11.12	821	7.68	2.08752	0.726	1.0665	1.2327
241389004	27.14	0.02	21.01	0.04	214.73	260.5	0.06	0.1	149.16	0	0.03	26.63	0	1.68	12.62	10.01	813	7.56	1.54612	0.5708	0.7375	1.1385
241370001	5.6	0.04	8.56	0	207.44	259.3	0.09	0.04	142.83	0	0.03	20.39	0	2.2	8.11	3.16	720	7.5	5.62514	0.1286	-0.3584	1.0995
241360014	14.69	0	19.28	0	747.77	307.31	0.09	0.12	227.1	0	0.05	112.77	0	1.01	5.38	19.65	1489	7.99	2.68331	1.1983	2.2722	-1.087
241379002	16.93	0.01	58.22	0	67	266.5	0.06	0.1	130.56	0	0.02	9.12	0	0.85	9.37	6.11	623	7.69	8.7061	0.2984	-0.3828	0.5694
241379001	17.04	0.02	92.95	0	120.15	225.68	0.06	0.1	138.48	0	0.02	15.12	0	0.89	9.56	3.52	704	7.75	5.58513	-0.1937	-1.1657	1.5394
241370060	4.91	0.08	0.79	0	163.48	186.07	0.05	0.06	96.93	0	0.06	20.87	0.21	1.16	13.31	3.65	553	7.78	1.2788	0.3437	0.2319	-1.295
241370002	6.02	0.02	9.12	0	197.39	261.7	0.06	0.05	136.5	0	0.03	23.27	0.01	2.56	7.45	3.41	707	7.46	6.69002	0.2895	0.0315	1.1226
241380002B	6.75	0.06	10.74	0.03	239.54	250.89	0.06	0.07	151.93	0	0.03	25.19	0	1.24	9.93	5.39	766	7.66	6.17515	0.344	0.1236	1.0198
241380001	4.97	0	10.14	0.01	84.97	175.26	0.06	0	86.25	0	0.02	7.44	0	0.92	6.1	3.15	437	7.6	6.28056	-0.0466	-0.9765	1.5505
241389005	1.19	0.02	0.37	0	1.51	10.8	0.09	0	2.82	0	0.11	1	0	0.48	6.34	0.52	25	8	1.63703	-2.6869	-5.7267	4.4466
241389001	19.27	0.01	35.12	0	60.13	264.1	0.04	0.08	117.51	0	0.02	10.08	0	7.12	9.06	4.8	593	7.85	8.23882	0.9074	0.9158	1.6176
241370020	9.85	0	39.92	0	14.34	258.1	0.04	0.1	102.87	0	0.01	4.32	0.01	0.35	7.26	3.41	477	7.96	8.96198	0.6285	0.0545	2.2452

Tabla A2. Inventario de puntos de agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Coordenadas UTM WGS1950, 30N.

IDPTOAGUA	TOPONIMO	MUNICIPIO	RIO	TIP	X	Y	Z	Q[L/s]	PROF.	NIVE L.	USO
241320009	LA SANTILLA I	TUBILLA DEL AGUA	ALHAMA	MANANTIAL	580500.00	4644350.00	860.00	9.50			Abto.
241320010	LA SANTILLA II	SAN FELICES	ALHAMA	MANANTIAL	580350.00	4644350.00	880.00	9.50			Abto.
241330011		SAN FELICES	ALHAMA	MANANTIAL	581594.00	4644036.00	1000.00	16.20			Abto.
241330012		AGUILAR DEL RIO ALHAMA	ALHAMA	MANANTIAL	583917.00	4644463.00	900.00	0.10			
241330013		AGUILAR DEL RIO ALHAMA	ALHAMA	MANANTIAL	584610.00	4642159.00	935.00	0.70			
241330014		AGUILAR DEL RIO ALHAMA	ALHAMA	MANANTIAL	585891.00	4642887.00	900.00	3.60			
241330022	FTE. SORDERA	AGUILAR DEL RIO ALHAMA	ALHAMA	MANANTIAL	582374.00	4646330.00	610.00	12.60			
241330023		AGUILAR DEL RIO ALHAMA	ALHAMA	MANANTIAL	581414.00	4645773.00	620.00	5.40			
241330026	FUENTE CTA. COLORADA	DEVANOS	ADAMAZA	MANANTIAL	586500.00	4641350.00	850.00	1.00			Agricola
241350001	SONDEO SGOP	VALDELAGUA DEL CERRO	ADAMAZA	POZO	573800.00	4637700.00	1075.00	15.00	150.00	76.10	Abto.
241350002	FUENTE MALMAYOR	TREVAGO	ADAMAZA	MANANTIAL	573300.00	4634500.00	1140.00	0.10			sin uso
241350009		TREVAGO	ADAMAZA	POZO	572445.00	4633130.00	0.00	0.01	70.00		
241360001	AYUNTAMIENTO	FUENTESTRUN	ADAMAZA	MANANTIAL	576200.00	4636450.00	1002.00	0.25	40.00	18.24	
241360002		MATALEBRERAS	ADAMAZA	SONDEO	579542.00	4632646.00	985.00	3.00	100.00	7.00	Abto.
241360003	POZO N_1 EL CAMPILLO	MATALEBRERAS	ADAMAZA	POZO	580550.00	4634800.00	965.00	2.00	17.00	4.00	Abto.
241360004	LAS POZAS	FUENTESTRUN	ADAMAZA	POZO	576100.00	4636450.00	1000.00	2.65	46.00		
241360005	POZO N_2 EL CAMPILLO	MATALEBRERAS	ADAMAZA	POZO	580950.00	4634100.00	965.00		17.00	2.80	sin uso
241360006	SONDEO NEGATIVO AYTO.	MATALEBRERAS	ADAMAZA	SONDEO	581100.00	4633650.00	963.00		405.00		sin uso
241360007	SONDEO SGOP	FUENTESTRUN	ADAMAZA	POZO	576350.00	4636550.00	1011.00		100.00	17.42	Abto.
241360008	ROGELIO SAINZ	FUENTESTRUN	ADAMAZA	POZO	576350.00	4636500.00	1010.00	4.50	46.00		ganadero
241360009	SONDEO AYUNTAMIENTO	CASTILRUIZ	ADAMAZA	POZO	577500.00	4636750.00	1004.00	3.00	140.00	19.00	Abto.
241360010	SONDEO AYUNTAMIENTO	TREVAGO	ADAMAZA	POZO	574850.00	4637300.00	1050.00		140.00		Abto.
241360011	LAS FUENTECILLAS	FUENTESTRUN	ADAMAZA	MANANTIAL	575050.00	4633250.00	1200.00	10.00			
241360012	FUENTE TEJERA	MATALEBRERAS	ADAMAZA	MANANTIAL	575250.00	4633200.00	1200.00	1.00			
241360013	FUENTE VIEVA	CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	577500.00	4636250.00	990.00	0.90			
241360014	FUENTE DEL REJETE	CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	578150.00	4636900.00	990.00	0.90			Abto.
241360015	ARROYO MANZANO	CASTILRUIZ	ADAMAZA	POZO	577500.00	4636150.00	990.00		140.00		sin uso
241360016		CASTILRUIZ	ADAMAZA	POZO	578400.00	4635600.00	0.00		32.00	28.00	Agricola
241360018		FUENTESTRUN	ADAMAZA		576300.00	4636400.00	0.00	15.00	60.00	11.15	Agricola
241360019		FUENTESTRUN	ADAMAZA		576330.00	4636370.00	0.00		140.00		seco
241370001		CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584901.00	4637108.00	980.00	1.00			Agricola
241370002		CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584902.00	4637233.00	980.00	0.50			Agricola
241370003		CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584677.00	4637184.00	980.00	0.20			Agricola
241370004		CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584751.00	4637084.00	980.00	0.50			Agricola
241370005		CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584197.00	4636561.00	980.00	0.30			Agricola
241370006	AYUNTAMIENTO	CASTILRUIZ	ADAMAZA	MANANTIAL	584248.00	4636711.00	980.00	3.00			Abto.
241370007		DEVANOS	ADAMAZA	MANANTIAL	587244.00	4639422.00	930.00	6.00			Agricola
241370008		DEVANOS	ADAMAZA	MANANTIAL	586765.00	4638974.00	950.00	15.00			Abto.
241370009	CAMINO AÑAVIEJA	DEVANOS	AÑAMAZA	SONDEO	586450.00	4638250.00	945.00		165.00	3.30	sin uso

241370010		DEVANOS	AÑAMAZA	SONDEO	586290.00	4638450.00	960.00		30.00	3.91	sin uso
241370011	LAGUNA AÑAVIEJA, PIEZOMETRO SGOP.	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	SONDEO	584654.48	4637207.94	745.00		150.00	4.50	sin uso
241370012		DEVANOS	AÑAMAZA	POZO	587400.00	4639650.00	0.00	0.12	85.00	6.50	Agricola
241370013		CASTILRUIZ	AÑAMAZA		584300.00	4636900.00	0.00	17.00	62.00	18.00	Agricola
241370014	ELADIO LASARTA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582900.00	4636900.00	990.00		100.00	33.00	Agricola
241370015	LOS ARBOLES	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582800.00	4636150.00	986.00	0.20	66.00	9.00	Agricola
241370016	PASCUAL MARTINEZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	584900.00	4637850.00	964.00	3.00	130.00	9.45	Agricola
241370017	PASCUAL MARTINEZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	585550.00	4638200.00	974.00		70.00	13.98	sin uso
241370018	FCA. CARRETERA DE ÉLVEGA ALEJÉN	AGREDA	VAL	POZO	588000.00	4632800.00	930.00		60.00		Industria
241370019		CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582150.00	4637750.00	1028.00		95.00	64.12	sin uso
241370020	FUENTE DE LA INES	DEVANOS	AÑAMAZA	MANANTIAL	586800.00	4639300.00	1000.00	2.50			Abto.
241370021	ALEJÉN	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	581900.00	4637750.00	1030.00	0.20	95.00	65.00	Agricola
241370022	ROGELIO SAINZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	583150.00	4637700.00	1031.00	0.50	127.00	80.00	Agricola
241370023	SONDEO TELESFORO LASANTA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	583300.00	4637100.00	985.00	0.75	107.00	85.00	Agricola
241370024	CONRADO MARTINEZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	583350.00	4636700.00	986.00	0.01	212.00	22.24	Agricola
241370025	FELIX RUIZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	583300.00	4634650.00	970.00	0.50	217.00	3.03	Agricola
241370026	LLANADA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582500.00	4635900.00	965.00				Agricola
241370027	LLANADA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582500.00	4635900.00	965.00				Agricola
241370028	ABILIO ALONSO	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	585400.00	4637500.00	970.00		3.50	2.60	Agricola
241370029	EULOGIO SAINZ	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	582800.00	4636150.00	975.00		145.00	2.70	Agricola
241370030	LAS FUENTEZUELAS	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584350.00	4638200.00	1050.00	1.00			sin uso
241370031	MANANTIAL DE LA CASETA	DEVANOS	AÑAMAZA	MANANTIAL	586450.00	4638250.00	947.00	15.00			Agricola
241370032	DIMAR	AGREDA	VAL	POZO	587900.00	4632500.00	950.00		40.00	7.00	Industria
241370033	MANANTIAL LA LAGUNA I (AÑAVIEJA)	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	585750.00	4637900.00	949.00	1.00			Agricola
241370034	MANANTIAL LA LAGUNA II (AÑAVIEJA)	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	585750.00	4638050.00	949.00	310.00			Agricola
241370035	MANANTIAL SAN SALVADOR	DEVANOS	AÑAMAZA	MANANTIAL	586450.00	4638250.00	947.00	3.00			sin uso
241370036	ZANJA DRENAJE I	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	EXCAVACIËN	582900.00	4636900.00	959.00	5.00			sin uso
241370037	ZANJA DRENAJE II	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	EXCAVACIËN	583300.00	4635100.00	959.00	5.00			sin uso
241370038	POZO LAGUNA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	585550.00	4637650.00	958.00		3.00	1.00	Agricola
241370039	POZO AYUNTAMIENTO	MATALEBRERAS	AÑAMAZA	POZO	581500.00	4634100.00	965.00	2.00	5.00		Abto.
241370040	ERNESTO ORTE	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	584950.00	4636850.00	1020.00	0.02	75.00	45.00	Agricola
241370041	FTE. LA MORA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584450.00	4636950.00	959.00	2.00			Agricola
241370042	MAN. DEL FRANCES	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584500.00	4636950.00	959.00	1.00			Agricola
241370043	MAN. DE LA CUEVA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584500.00	4637050.00	958.00	2.00			Agricola
241370044	MAN. DE LA CUEVA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584500.00	4637050.00	958.00	2.00			Agricola
241370045	OJO DE CHINCHARRIN	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584500.00	4636800.00	958.00	10.00			Agricola
241370046	LAVADERO	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584650.00	4636900.00	957.00	0.50			Agricola
241370047	LA FUENTECILLA	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	MANANTIAL	584650.00	4636950.00	956.00	1.00			Agricola

241370048	JOSÉ TIERNO	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	SONDEO	583790.00	4635090.00	965.00	7.00	45.00	9.00	Agricola
241370049	MATANALTA, POLIGONO 10, PARCELA 364	OLVEGA	AÑAMAZA	POZO	583450.00	4632400.00	0.00				
241370050		DEVANOS	AÑAMAZA	DIRECTA CAUCE POZO	586700.00	4638500.00	0.00				
241370058	LAS BARRERAS (Pol. 5, Parc.208). Sondeo nº 1	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	583682.00	4635412.00	970.00	241.00	350.00	6.21	Agricola
241370059	LOS CRUCEROS (Pol. 4, Parc. 5342). Sondeo nº 4	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	POZO	584718.00	4638709.00	970.00	245.00	553.00	87.00	Agricola
241370060	PIEZOMETRO CHE	CASTILRUIZ	AÑAMAZA	PIEZOMETRO	584603.00	4637042.00	957.00		72.00	4.24	CHE
241380001	VOZMEDIANO	VOZMEDIANO	QUEILES	MANANTIAL	594569.00	4632156.00	1020.00	1500.00			Agricola
241380002	LOS OJILLOS DE AGREDA	AGREDA	VAL	MANANTIAL	588876.00	4633436.00	940.00	49.00			Agricola
241380003		AGREDA	VAL	MANANTIAL	589421.00	4636134.00	950.00	8.00			Agricola
241380004	TRAGSA P1 RIEGOS	AGREDA	VAL	POZO	588500.00	4632750.00	950.00	0.50	350.00	5.15	Agricola
241380005	CUNCHILLERIA	AGREDA	VAL	POZO	589350.00	4635600.00	970.00	0.40			ganadero
241380006	CUNCHILLERIA	AGREDA	VAL	POZO	589450.00	4635700.00	970.00	0.60			Agricola
241380007	HONTANILLA	AGREDA	VAL	POZO	588450.00	4635150.00	970.00		120.00		Abto.
241380008	POZO 1 \perp GREDA	AGREDA	VAL	POZO	589500.00	4632500.00	1000.00	0.40	70.00		Abto.
241380009	POZO 2 \perp GREDA	AGREDA	VAL	POZO	589750.00	4632250.00	980.00	0.40	155.00	57.30	Abto.
241380011	FUENTE TORNES	DEVANOS	AÑAMAZA	MANANTIAL	588350.00	4640300.00	870.00	12.00			sin uso
241380012	POZO RIEGOS 2	AGREDA	VAL	POZO	588450.00	4632700.00	950.00				Agricola
241380013	FUENTE LA DEHESA	AGREDA	VAL	MANANTIAL	589165.00	4633797.00	935.00	0.03			sin uso
241380014		AGREDA	VAL	DESCONOCID O	589110.00	4633900.00	0.00				
241380015	ISIDRO CACHO	AGREDA	VAL	DESCONOCID O	588300.00	4637300.00	971.00	0.20	110.00	21.00	ganadero
241380016	JESUS RUBIO	AGREDA	AÑAMAZA	POZO	588950.00	4636300.00	980.00	0.10	146.00	11.00	ganadero
241380018	NAVACEA	AGREDA	AÑAMAZA	POZO	588300.00	4637300.00	971.00				
241380019	ANGEL GOMARA	AGREDA	QUEILES	PUNTO DE CONTROL	588950.00	4633450.00	943.00	0.20	100.00	5.00	Agricola
241380021		AGREDA	QUEILES	SONDEO	593350.00	4640800.00	805.00	0.50	176.00		
241380022		AGREDA	QUEILES	TOMA DE ACEQUIA	593825.00	4633100.00	940.00				
241380023	NACIMIENTO DEL QUEILES	VOZMEDIANO	QUEILES	DIRECTA CAUCE	594728.00	4632309.00	920.00				
241420002	CORRAL VALDELAPUERT A	MATALEBRERAS	ALHAMA	POZO	577300.00	4629750.00	1025.00				
241420003	FUENTE SAN ROQUE	OLVEGA	ALHAMA	MANANTIAL	580300.00	4626750.00	1040.00	0.80			sin uso
241430003		OLVEGA	VAL	MANANTIAL	584384.00	4626239.00	1030.00	7.20			
241430004		OLVEGA	VAL	MANANTIAL	583480.00	4628540.00	1015.00	5.40			
241430005		OLVEGA	AÑAMAZA	MANANTIAL	583262.00	4631467.00	990.00	5.40			
241430006	FTE. AUGUSTO	OLVEGA	AÑAMAZA	MANANTIAL	583050.00	4631711.00	980.00	5.40			
241430007	GRANJA	OLVEGA	VAL	SONDEO	583270.00	4630635.00	1000.00		38.00	6.20	ganadero
241430008	GRANJA	OLVEGA	AÑAMAZA	SONDEO	581603.00	4631266.00	985.00	0.10	50.00	31.81	ganadero
241430009		OLVEGA	AÑAMAZA	SONDEO	582294.00	4631400.00	990.00		57.00	34.32	ganadero
241430010		OLVEGA	VAL	MANANTIAL	583890.00	4627065.00	1020.00	28.00			
241430011		OLVEGA	VAL	POZO	584097.00	4627099.00	1015.00	25.00	8.00	0.45	Abto.
241430012		OLVEGA	VAL	MANANTIAL	585929.00	4624502.00	1080.00	7.20			
241430015		OLVEGA	VAL	POZO	585300.00	4626950.00	0.00	0.05	13.00		

241430016		OLVEGA	VAL	POZO	584000.00	4627250.00	0.00	0.18			
241430019		OLVEGA	VAL	POZO	585275.00	4626750.00	0.00				
241430020	FELIX RUIZ SAEZ	OLVEGA	ALHAMA	POZO	583200.00	4631900.00	980.00				
241430021	TOMÁS MOÑUX	OLVEGA	ALHAMA	POZO	584400.00	4624500.00	1090.00		50.00	6.00	ganadero
241430022	ANA PEZUELAS	OLVEGA	ALHAMA	POZO	583050.00	4631950.00	982.00		58.00	16.00	ganadero
241430029	MANANTIAL INTERMITENTE	OLVEGA	QUEILES	MANANTIAL	588100.00	4626850.00	1180.00	20.00			
241430030	LA FUENTECILLA	OLVEGA	QUEILES	MANANTIAL	583200.00	4623650.00	1203.00	1.00			
241430031	LAS FUENTEZUELAS	OLVEGA	VAL	MANANTIAL	585375.56	4626873.25	1000.00				
241430032	RIO CAILES	OLVEGA	VAL	POZO	584786.73	4627312.21	1000.00	3.85	260.00		Agricola
241430033	LACAVA, POLIGONO 12, PARCELA 506	OLVEGA	QUEILES	POZO	584640.00	4627472.00	0.00	0.54	63.00		Agricola
241440005		Cueva de Agreda	DESCONOCIDO	MANANTIAL	592263.00	4625736.00	1330.00	288.00			
241440006		Cueva de Agreda	DESCONOCIDO	MANANTIAL	591994.00	4625177.00	1300.00	360.00			
241440007		Cueva de Agreda	DESCONOCIDO	MANANTIAL	595053.00	4624359.00	1390.00	236.00			
241440008		Cueva de Agreda	DESCONOCIDO	MANANTIAL	594213.00	4624964.00	1480.00	28.80			
241440009	OLVEGA-2 SGOP	AGREDA	VAL	OTROS	589086.23	4625073.27	1170.00		230.00	24.38	
241440010	SONDEO SGOP	AGREDA	VAL	SONDEO	590554.54	4628275.65	1120.00		80.00	72.21	
241440011	PARAJE DEPÓSITO	AGREDA	QUEILES	DIRECTA CAUCE	593600.00	4630725.00	1200.00				
241480005	OLVEGA-1 SGOP	AGREDA	DESCONOCIDO	OTROS	591531.00	4621559.77	1220.00				
251450009	C.H.D.	BERATON	DESCONOCIDO	MANANTIAL	599617.00	4619965.00	1500.00				
400000187	LOS ALMENDROS	FUENTESTRUN	AÑAMAZA	POZO	576608.00	4636535.00	1014.00				
400000214	CANAL DE SAN SALVADOR EN EL AZUD	DEVANOS	AÑAMAZA	PUNTO DE CONTROL	586210.60	4638194.99	0.00				

Tabla A3. Inventario de puntos de agua de TRAGSA (2001).

X	Y	Z	N.E. (msnm)	
591025	4647683	615	582.8	SONDEO
587325	4639775	940	940	SONDEO
582675	4637862	1025	958	SONDEO
587549	4638005	987	975.8	SONDEO
578141	4637521	1028	1024.53	SONDEO
585442	4637505	964	962	SONDEO
577415	4636808	1015	1008.16	SONDEO
584320	4636743	960	959	SONDEO
577501	4636143.45	990	988.1	SONDEO
589409.17	4635756.23	936	932.2	SONDEO
582946	4635698.01	968	966.35	SONDEO
589655	4635667	936	926.9	SONDEO
589542.41	4635648	938	932.1	SONDEO
589663	4635537	936	935.4	SONDEO
578442.11	4635437.08	979	976.53	SONDEO
588591	4632682	957	953.6	SONDEO
579109	4632396	990	987.43	SONDEO
583725	4634462	975	972.89	SONDEO
582360	4631439	982	980.18	SONDEO
590842	4647290	610	610	MANANTIAL
580979	4643416	941	940.65	MANANTIAL
580953	4643378	935	935	MANANTIAL
592187	4640625	855	770.8	MANANTIAL
584662	4637175	958	958	MANANTIAL
587925	4640425	900	899.8	MANANTIAL
588412	4640362	868	867.8	MANANTIAL
586750	4638875	965	965	MANANTIAL
590012	4638225	890	889.8	MANANTIAL
572578	4638113	997	997	MANANTIAL
584653	4638028	1020	1019.04	MANANTIAL
585750	4638075	960	959.9	MANANTIAL
584615	4637825	1020	1018.98	MANANTIAL
584724	4637179	958	957.8	MANANTIAL
584657	4637125	960	958.7	MANANTIAL
584617	4637115	956	955.7	MANANTIAL
577918	4636950	1010	1010	MANANTIAL
584315	4636627	959	958.6	MANANTIAL
584324	4636559	961	960.7	MANANTIAL
584525	4638087	1025	1024.44	MANANTIAL
589849	4635965.25	932	932	MANANTIAL
573369	4635113.39	1111	1111	MANANTIAL
588597.12	4634913.17	965	965	MANANTIAL
587891.16	4634562	995	995	MANANTIAL

573367	4634551	1140	1139	MANANTIAL
573323.21	4634502.45	1142	1142	MANANTIAL
589181	4634119	930	930	MANANTIAL
589198.12	4633894.27	938	938	MANANTIAL
590381.35	4633872	950	950	MANANTIAL
588694.23	4633505.36	940	939.6	MANANTIAL
588729.17	4633483.33	945	944.7	MANANTIAL
574253	4632733.41	1210	1210	MANANTIAL
594736	4632270	915	915	MANANTIAL
592646	4631771	1067	1067	MANANTIAL
592884	4631392	1040	1040	MANANTIAL
580401	4631027	969	967	MANANTIAL
590945	4645127	578	577.1	POZO
586350	4638200	947	943.8	POZO
587675	4637775	968	951.66	POZO
585025	4637857	965	956.23	POZO
585176	4637710	951	946.7	POZO
582263	4637825	1017	953.48	POZO
584200	4637350	1023	1005.4	POZO
574859	4637300	1050	1005.33	POZO
584563	4637020	958	953.78	POZO
584478	4636988	959	958.5	POZO
584687	4636942	960	953.4	POZO
583185	4636775	980	947	POZO
577517	4636709	1008	990	POZO
583360	4636572	972	951.88	POZO
576608	4636535	1014	1003	POZO
576173	4636439	1005	998.33	POZO
589121	4636129	947	941.5	POZO
589049	4632190	942	938.9	POZO
582948	4635807	969	964.57	POZO
583764	4635736	958	953.57	POZO
576409.37	4635713	998	994.73	POZO
581537	4635675	965	959.48	POZO
583846	4635652.18	964	954.5	POZO
583183	4634673.21	964	960.87	POZO
581383	4633820.09	964	961.83	POZO
580992	4633820	969	966.23	POZO
594696	4633577.34	916	881.29	POZO
588042	4632695	953	947.63	POZO
588627	4632686	958	954.14	POZO
588001	4632592	953	947.14	POZO
590404	4632103	1046	886	POZO
584091	4632032	1046	1025.17	POZO
581617	4631519.09	970	936.33	POZO
582360	4631439	982	972.64	POZO
584412	4633950	1002	977.28	POZO

Tabla A4. Puntos utilizados para la calibración.

CALIBRACIÓN	X	Y	Z	IPA_CHE
A1	585564.150607	4637736.738379	953.000000	241370038
A2	585414.152194	4637586.739171	952.400000	241370028
A3	582814.196704	4636236.757458	965.300000	241370015
A4	580964.229550	4634186.786896	962.200000	241360005
A5	583314.191449	4634736.782262	957.970000	241370025
A6	586464.135328	4638336.730395	941.700000	241370009
A7	580564.234637	4634886.775027	961.000000	241360003
A8	584617.166643	4637128.746407	952.760000	241370003
A9	584668.643388	4637294.680015	955.500000	241370011
A10	588964.103247	4633536.810013	945.000000	
A11	588514.111591	4632836.820383	949.850000	
A12	583696.183020	4635498.769444	954.790000	
A13	579556.254361	4632732.807607	979.000000	241360002
A14	587914.122559	4632586.824651	947.000000	241370032
A15	582814.195654	4636236.756121	959.000000	241370029
A16	583804.181881	4635176.774770	954.000000	
A17	584914.160525	4637936.734044	954.550000	241370016
A18	585564.148589	4638286.728272	983.020000	241370017
A19	584314.170632	4636986.746802	943.000000	
A20	589100.345810	4625160.215875	1024.620000	241440009
A21	578414.267199	4635686.758482	953.000000	241360016
A22	581617.224228	4631352.833244	955.190000	241430008
A23	582308.212022	4631486.830983	958.180000	
A24	589764.093771	4632336.831896	961.700000	241380009
A25	590568.630467	4628362.542292	1131.790000	241440010
A26	591791.615454	4621124.525923	1096.000000	
A27	585456.151521	4637591.739165	962.000000	
A28	584334.170593	4636829.749341	959.000000	
A29	578456.375768	4635523.839816	976.530000	
A30	588605.111321	4632768.822966	953.600000	241380004
A31	579123.261643	4632482.810832	987.430000	241360002
A32	583739.184015	4634548.784670	972.890000	
A33	582374.210910	4631525.830477	980.180000	
A34	586364.135949	4638286.729681	943.800000	241370031
A35	585039.157489	4637943.732817	956.230000	
A36	585190.155363	4637796.735427	946.700000	
A37	574873.320156	4637386.725133	1005.330000	241360010
A38	584577.166265	4637106.745351	953.780000	
A39	584492.167664	4637074.745712	958.500000	
A40	584701.164443	4637028.746814	953.400000	

A41	583199.188469	4636861.746831	947.000000	
A42	577531.279197	4636795.739240	990.000000	241360009
A43	583374.187112	4636658.751714	951.880000	241370024
A44	576622.292814	4636621.739075	1003.000000	
A45	576187.300910	4636525.741180	998.330000	24136004
A46	589063.103905	4632276.830280	938.900000	
A47	582962.193921	4635893.761852	964.570000	241370027
A48	583778.181153	4635822.764421	953.570000	
A49	576423.668455	4635799.753176	994.730000	400000364
A50	583197.192207	4634759.990347	960.870000	
A51	581397.222150	4633906.880783	961.830000	
A52	581006.228328	4633906.790096	966.230000	
A53	588056.119972	4632781.821791	947.630000	241370018
A54	588641.109697	4632772.821627	954.140000	
A55	588015.119753	4632678.822024	947.140000	
A56	590418.082651	4632189.834055	886.000000	
A57	581631.222508	4631605.917892	936.330000	
A58	582374.210910	4631525.830477	972.640000	
A59	584426.174063	4634036.794046	977.280000	
A60	575064.324276	4633336.790067	1192.000000	241360011
A61	584514.167648	4636886.748749	973.000000	
A62	586779.129074	4639060.719403	943.000000	241370008
A63	586464.134281	4638336.729060	944.000000	241370035
A64	588114.129360	4626936.915106	1164.000000	241430029
A65	594227.036108	4625050.955942	1481.000000	241440008
A66	588890.105488	4633522.811443	946.000000	241380002
A67	595067.023904	4624445.967068	1377.000000	241440007
A68	592277.065553	4625822.940199	1363.000000	241440005
A69	585764.146741	4638136.732352	953.000000	241370034
A70	592008.070788	4625263.948639	1300.000000	241440006
A71	594583.017801	4632242.841884	930.000000	241380001

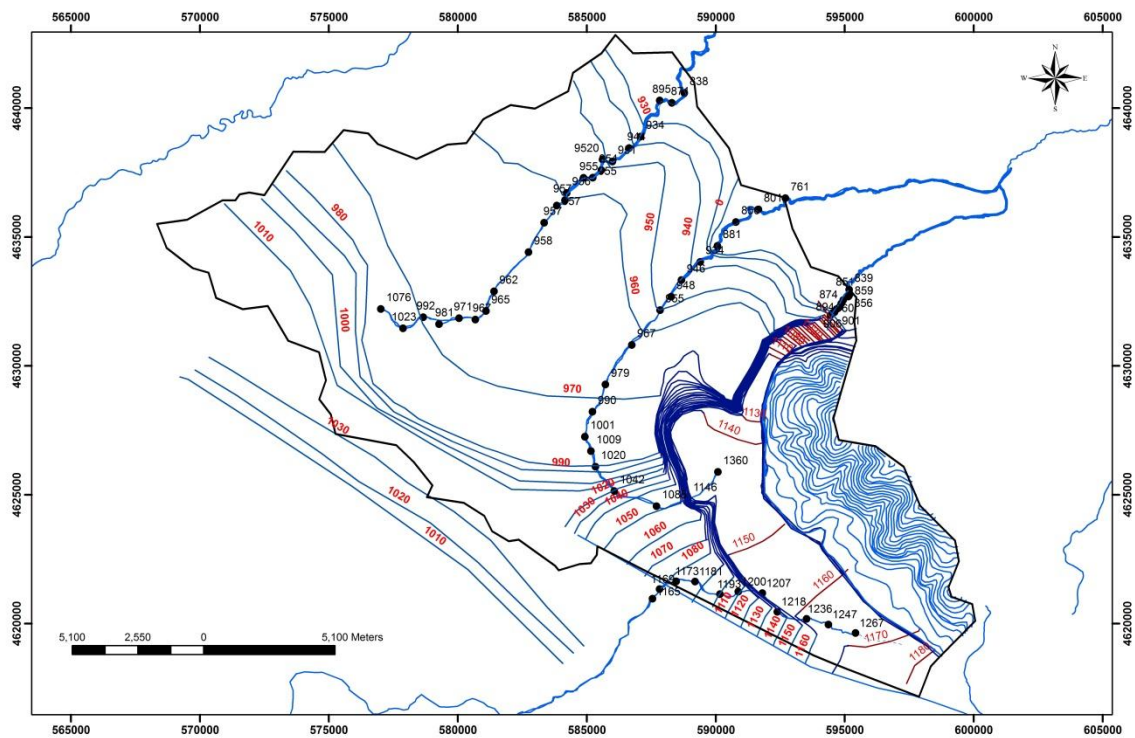


Figura A1. Mapa de isopiezas del modelo conceptual previo al modelo numérico.

Figura A5. Inventario de puntos de agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro con análisis químicos y los resultados analíticos.

IPA	CL [mg/l]	SO4 [mg/l]	HCO3 [mg/l]	NO3 [mg/l]	Na [mg/l]	Mg [mg/l]	Ca [mg/l]	K [mg/l]	Cond [uS/cm]	Ph
241320010	12.00	38.00	281.00	6.80	9.00	24.00	80.00	0.80	500.00	8.00
241330022	20.60	352.30	336.70	4.70	16.10	64.60	159.60	2.00	969.00	8.00
241360001	15.60	224.20	272.10	15.20	8.70	51.10	97.20	1.60	699.00	7.50
241360002	19.00	216.00	252.54	38.00	10.00	42.00	103.00	2.00	979.00	7.90
241360003	55.40	39.80	145.20	51.80	19.30	20.60	66.80	0.80	530.00	7.20
241360004	16	710	337.94	9	19	100	205	-888	1507	8.5
241360012	5.70	2.40	159.80	2.10	2.80	13.10	32.00	0.80	217.00	8.00
241360013	13.00	115.00	247.66	20.00	8.00	24.00	99.00	2.00	736.00	7.70
241360014	16.00	710.00	337.94	9.00	19.00	100.00	205.00	0.00	1507.00	8.50
241360015	45.00	193.00	350.14	11.00	20.00	36.00	136.00	2.00	1072.00	7.90
241370001	17.80	230.90	241.60	15.20	6.20	55.70	100.00	1.20	575.00	6.70
241370002	3.20	201.10	276.30	8.20	3.90	17.30	140.40	2.00	719.00	7.70
241370003	6.70	120.00	250.10	7.10	4.60	36.30	80.00	0.80	625.00	7.40
241370006	9.00	156.00	174.00	12.00	7.00	27.00	89.00	2.00	700.00	7.40
241370007	9.20	298.10	317.20	12.20	3.00	47.20	147.60	1.20		
241370008	6.00	210.00	199.00	5.00	4.00	35.00	98.00	1.00	778.00	7.50
241370017	9.90	131.00	341.00	25.10	6.00	18.80	143.20	0.80	742.00	8.10
241370020	17.80	79.70	276.90	75.70	5.10	19.10	120.00	0.80	617.00	7.30
241370029	31.20	38.90	197.00	9.50	22.10	7.00	72.80	0.80	471.00	8.20
241370031	3.90	231.80	278.20	6.60	3.90	16.90	144.80	0.80	760.00	7.80
241370034	3.20	229.90	275.10	8.10	3.90	19.10	147.00	0.80	757.00	8.10
241370035	4.30	215.00	273.90	6.10	3.90	19.50	142.40	0.80	726.00	7.60
241370038	7.10	214.10	275.10	6.20	3.90	17.70	145.60	0.80	726.00	7.90
241370045	9.20	223.70	292.80	10.70	3.20	31.50	140.00	1.20	677.00	7.30
241380001	5.00	69.00	152.50	12.00	4.00	8.00	70.00	1.00	279.00	7.10
241380002	9.00	186.00	258.64	17.00	7.00	22.00	143.00	2.00	640.00	7.00
241380008	11.00	101.00	21.00	6.00	19.00	99.00	1.00	450.00	6.90	
241380013	18.00	271.00	287.92	4.00	10.00	28.00	195.00	3.00	755.00	6.80
241430006	5.30	6.20	219.00	31.20	8.10	7.50	67.60	0.80	386.00	205.00
241430008	5.00	13.00	286.70	6.10	2.10	3.10	97.60	0.80	464.00	7.60

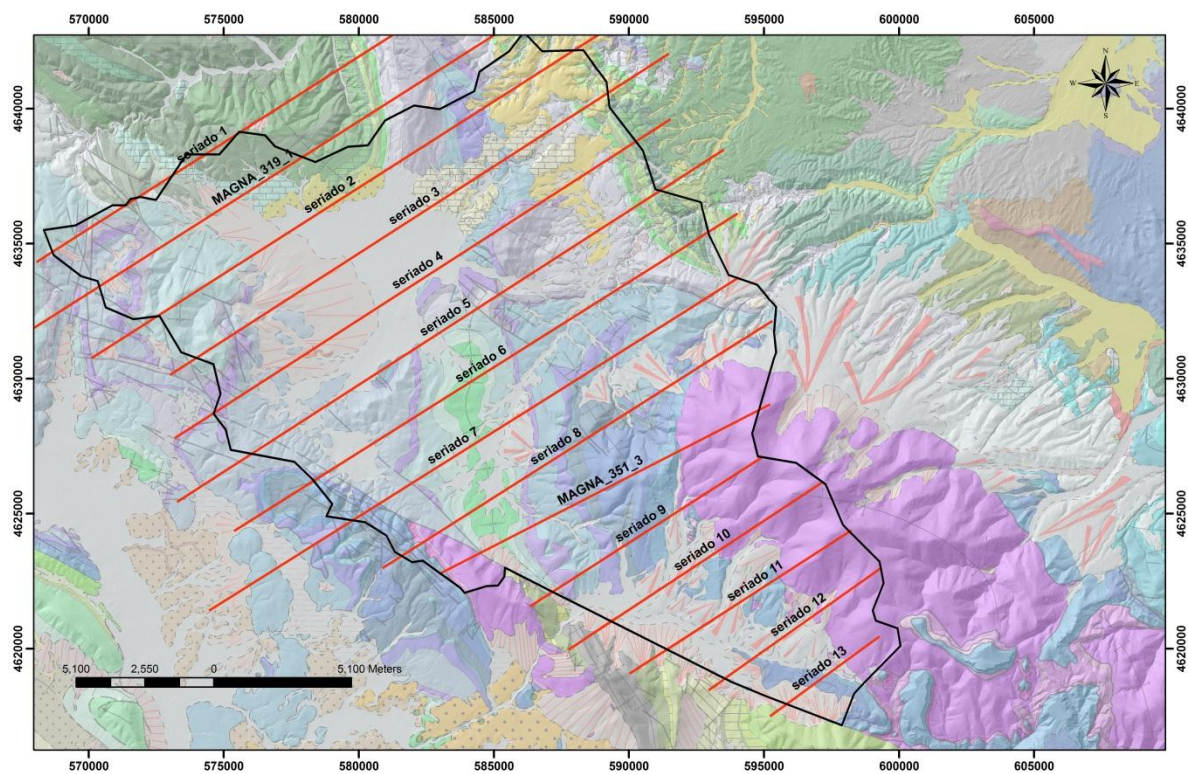


Figura A2. Localización de los cortes seriados.

Informe de los principales resultados de TRANSIN.

PARAMETERS HISTORY
=====

	PARAM. NUMBER	ZONE NUM.	ISOZ	VALUE
ITERATION	1			
TRANSMISSIVITY	2	1	1000.0000	
TRANSMISSIVITY	3	1	30.000000	
TRANSMISSIVITY	4	1	1840.0000	
TRANSMISSIVITY	5	1	1.0000000	
LEAKAGE COEFF.	1	-	0.10000000	
LEAKAGE COEFF.	2	-	0.10000000	
ITERATION	2			
TRANSMISSIVITY	2	1	781.66380	
TRANSMISSIVITY	3	1	28.508981	
TRANSMISSIVITY	4	1	1794.5715	
TRANSMISSIVITY	5	1	0.87824002	
LEAKAGE COEFF.	1	-	0.25000000	
LEAKAGE COEFF.	2	-	0.24967624	
ITERATION	3			
TRANSMISSIVITY	2	1	461.35297	
TRANSMISSIVITY	3	1	23.625448	
TRANSMISSIVITY	4	1	1668.0748	
TRANSMISSIVITY	5	1	0.66927066	
LEAKAGE COEFF.	1	-	0.62500000	
LEAKAGE COEFF.	2	-	0.57765421	
ITERATION	4			
TRANSMISSIVITY	2	1	229.65434	
TRANSMISSIVITY	3	1	11.238536	
TRANSMISSIVITY	4	1	1317.0525	

TRANSMISSIVITY	5	1	0.40653365
LEAKAGE COEFF.	1	-	1.5625000
LEAKAGE COEFF.	2	-	1.3031957

ITERATION 5			
TRANSMISSIVITY	2	1	264.35219
TRANSMISSIVITY	3	1	2.4972010
TRANSMISSIVITY	4	1	760.34898
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20195209
LEAKAGE COEFF.	1	-	2.9735782
LEAKAGE COEFF.	2	-	3.2579893

ITERATION 6			
TRANSMISSIVITY	2	1	268.41430
TRANSMISSIVITY	3	1	2.7743487
TRANSMISSIVITY	4	1	709.21700
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20611685
LEAKAGE COEFF.	1	-	3.0314688
LEAKAGE COEFF.	2	-	5.2485699

ITERATION 7			
TRANSMISSIVITY	2	1	273.22800
TRANSMISSIVITY	3	1	2.7656962
TRANSMISSIVITY	4	1	707.18976
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20548682
LEAKAGE COEFF.	1	-	3.0971181
LEAKAGE COEFF.	2	-	5.2165749

ITERATION 8			
TRANSMISSIVITY	2	1	270.83538
TRANSMISSIVITY	3	1	2.7843774
TRANSMISSIVITY	4	1	707.80247
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20565790
LEAKAGE COEFF.	1	-	3.0941562
LEAKAGE COEFF.	2	-	5.2315661

ITERATION 9			
TRANSMISSIVITY	2	1	272.29956
TRANSMISSIVITY	3	1	2.7734136
TRANSMISSIVITY	4	1	707.37589
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20553722
LEAKAGE COEFF.	1	-	3.0952829
LEAKAGE COEFF.	2	-	5.2240284

ITERATION 10			
TRANSMISSIVITY	2	1	271.41926

TRANSMISSIVITY	3	1	2.7799421
TRANSMISSIVITY	4	1	707.62811
TRANSMISSIVITY	5	1	0.20560940
LEAKAGE COEFF.	1	-	3.0947289
LEAKAGE COEFF.	2	-	5.2286059

FLOW PROBLEM # 1. STEADY-STATE MASS BALANCE. TIME: 0.00000

ZONE	RECHARGE	PRESC.HEAD	PRESC.FLOW	LEAKAGE
1	4193.65	0.00000	0.00000	-3359.17
2	18894.0	0.00000	----	-6668.64
3	2667.69	0.00000	----	-44384.4
4	41925.9	0.00000	----	-23227.7
5	4463.80	0.00000	----	-12831.6
6	15842.4	0.00000	----	
7	2484.11	0.00000		
8	----	0.00000		
SUM. 0.00000	90471.5	0.00000	0.00000	-90471.5

FLOW MASS BALANCE ERROR: 0.317159E-01

FLOW MASS BALANCE ERROR (%) RELATIVE TO:

	STORAGE	RECHARGE	PRESC. HEAD	PRESC. FLOW
LEAKAGE	0.00000	0.350562E-04	0.00000	0.00000
0.350562E-04				

FLOW PROBLEM # 1. STEADY-STATE MASS BALANCE. TIME: 1.00000

ZONE	RECHARGE	PRESC.HEAD	PRESC.FLOW	LEAKAGE
1	4193.65	0.00000	0.00000	-3359.17
2	18894.0	0.00000	----	-6668.64
3	2667.69	0.00000	----	-44384.4
4	41925.9	0.00000	----	-23227.7
5	4463.80	0.00000	----	-12831.6
6	15842.4	0.00000	----	
7	2484.11	0.00000		
8	----	0.00000		
SUM. 0.00000	90471.5	0.00000	0.00000	-90471.5

FLOW MASS BALANCE ERROR: 0.317159E-01

FLOW MASS BALANCE ERROR (%) RELATIVE TO:

	STORAGE	RECHARGE	PRESC. HEAD	PRESC. FLOW
LEAKAGE	0.00000	0.350562E-04	0.00000	0.00000
	0.350562E-04			

OUTPUT STATISTICS
=====

WARNING: Txx IS ESTIMATED AND WEIGHTING PARAMETER IS ZERO

WARNING: Leakage IS ESTIMATED AND WEIGHTING PARAMETER IS ZERO

GENERAL STATISTICS

OBJECTIVE FUNCTION	=	0.38516E+04
DEGREES OF FREEDOM	=	70
MEAN CONTRIBUTION PER OBSERVATION	=	0.50679E+02
OBJECTIVE FUNCTION /DEGREES OF FREEDOM	=	0.55022E+02

LIKELIHOOD

TAU(I) EQUAL TO N(I)/F(I)	=	0.69735E+03
TAU(I) EQUAL TO 1/LAMBDA(I)	=	0.69735E+03
TAU SET TO ONE	=	0.41984E+04

EXPECTED LIKELIHOOD

ALPHAS ACCORDING TO EQNS 18-19-20	=	0.17902E+04
ALPHAS ACCORDING TO EQNS 21-22-23	=	0.40506E+03
ALPHAS SET TO ONE	=	0.40642E+04

STATISTICS PER DATA TYPE					

NAME	OBJ. FUNC.	* LAMBDA	* LAMBDA %	ALFA 1	
ALFA 2	LOG. OPT.				
----	-----	-	-	-----	
----	-----				
Head	0.385E+04	0.385E+04	0.100E+03	0.226E+01	
0.507E+02	0				

ANALYSIS OF WEIGHTED RESIDUALS PER DEVICE

						Head

FOBJ.	NAME	MEAN	MINIMUM	MAXIMUM	STDEV	
	AUTOCORR.	----	-----	-----	-----	----
--	-----					---
	A1	0.545E+00	0.545E+00	0.545E+00	0.000E+00	
0.297E+00	NOT CALC.					
	A2	0.143E+01	0.143E+01	0.143E+01	0.000E+00	
0.204E+01	NOT CALC.					
	A3	0.878E+00	0.878E+00	0.878E+00	0.000E+00	
0.771E+00	NOT CALC.					
	A4	0.401E+01	0.401E+01	0.401E+01	0.000E+00	
0.161E+02	NOT CALC.					
	A5	0.273E+01	0.273E+01	0.273E+01	0.000E+00	
0.746E+01	NOT CALC.					
	A6	0.910E+00	0.910E+00	0.910E+00	0.000E+00	
0.828E+00	NOT CALC.					
	A7	0.424E+01	0.424E+01	0.424E+01	0.000E+00	
0.180E+02	NOT CALC.					
	A8	0.108E+01	0.108E+01	0.108E+01	0.000E+00	
0.116E+01	NOT CALC.					
	A9	0.510E+00	0.510E+00	0.510E+00	0.000E+00	
0.260E+00	NOT CALC.					
	A10	-0.412E+00	-0.412E+00	-0.412E+00	0.000E+00	
0.170E+00	NOT CALC.					
	A11	-0.193E+00	-0.193E+00	-0.193E+00	0.000E+00	0.373E-
01	NOT CALC.					
	A12	0.253E+01	0.253E+01	0.253E+01	0.000E+00	
0.640E+01	NOT CALC.					
	A13	0.210E+01	0.210E+01	0.210E+01	0.000E+00	
0.443E+01	NOT CALC.					

	A14	0.151E+01	0.151E+01	0.151E+01	0.000E+00	
0.228E+01	NOT CALC.					
	A15	0.214E+01	0.214E+01	0.214E+01	0.000E+00	
0.457E+01	NOT CALC.					
	A16	0.280E+01	0.280E+01	0.280E+01	0.000E+00	
0.783E+01	NOT CALC.					
	A17	0.304E+00	0.304E+00	0.304E+00	0.000E+00	0.922E-
01	NOT CALC.					
	A18	-0.617E+01	-0.617E+01	-0.617E+01	0.000E+00	
0.381E+02	NOT CALC.					
	A19	0.330E+01	0.330E+01	0.330E+01	0.000E+00	
0.109E+02	NOT CALC.					
	A20	0.179E+02	0.179E+02	0.179E+02	0.000E+00	
0.321E+03	NOT CALC.					
	A21	0.706E+01	0.706E+01	0.706E+01	0.000E+00	
0.499E+02	NOT CALC.					
	A22	0.638E+01	0.638E+01	0.638E+01	0.000E+00	
0.407E+02	NOT CALC.					
	A23	0.534E+01	0.534E+01	0.534E+01	0.000E+00	
0.285E+02	NOT CALC.					
	A24	-0.435E+01	-0.435E+01	-0.435E+01	0.000E+00	
0.190E+02	NOT CALC.					
	A25	-0.880E+01	-0.880E+01	-0.880E+01	0.000E+00	
0.775E+02	NOT CALC.					
	A26	0.129E+01	0.129E+01	0.129E+01	0.000E+00	
0.166E+01	NOT CALC.					
	A27	-0.147E+01	-0.147E+01	-0.147E+01	0.000E+00	
0.215E+01	NOT CALC.					
	A28	0.594E-01	0.594E-01	0.594E-01	0.000E+00	0.352E-
02	NOT CALC.					
	A29	0.237E+01	0.237E+01	0.237E+01	0.000E+00	
0.560E+01	NOT CALC.					
	A30	-0.104E+01	-0.104E+01	-0.104E+01	0.000E+00	
0.108E+01	NOT CALC.					
	A31	0.715E+00	0.715E+00	0.715E+00	0.000E+00	
0.511E+00	NOT CALC.					
	A32	-0.508E+00	-0.508E+00	-0.508E+00	0.000E+00	
0.259E+00	NOT CALC.					
	A33	0.881E+00	0.881E+00	0.881E+00	0.000E+00	
0.777E+00	NOT CALC.					
	A34	0.673E+00	0.673E+00	0.673E+00	0.000E+00	
0.452E+00	NOT CALC.					
	A35	-0.125E+00	-0.125E+00	-0.125E+00	0.000E+00	0.156E-
01	NOT CALC.					
	A36	0.172E+01	0.172E+01	0.172E+01	0.000E+00	
0.296E+01	NOT CALC.					
	A37	-0.194E+01	-0.194E+01	-0.194E+01	0.000E+00	
0.376E+01	NOT CALC.					
	A38	0.909E+00	0.909E+00	0.909E+00	0.000E+00	
0.826E+00	NOT CALC.					
	A39	0.432E-01	0.432E-01	0.432E-01	0.000E+00	0.186E-
02	NOT CALC.					

	A40	0.946E+00	0.946E+00	0.946E+00	0.000E+00	
0.896E+00	NOT CALC.					
	A41	0.385E+01	0.385E+01	0.385E+01	0.000E+00	
0.148E+02	NOT CALC.					
	A42	0.371E-01	0.371E-01	0.371E-01	0.000E+00	0.137E-
02	NOT CALC.					
	A43	0.277E+01	0.277E+01	0.277E+01	0.000E+00	
0.769E+01	NOT CALC.					
	A44	-0.207E+01	-0.207E+01	-0.207E+01	0.000E+00	
0.428E+01	NOT CALC.					
	A45	0.107E+01	0.107E+01	0.107E+01	0.000E+00	
0.115E+01	NOT CALC.					
	A46	0.150E+01	0.150E+01	0.150E+01	0.000E+00	
0.225E+01	NOT CALC.					
	A47	0.105E+01	0.105E+01	0.105E+01	0.000E+00	
0.110E+01	NOT CALC.					
	A48	0.247E+01	0.247E+01	0.247E+01	0.000E+00	
0.612E+01	NOT CALC.					
	A49	-0.233E+00	-0.233E+00	-0.233E+00	0.000E+00	0.542E-
01	NOT CALC.					
	A50	0.224E+01	0.224E+01	0.224E+01	0.000E+00	
0.502E+01	NOT CALC.					
	A51	0.392E+01	0.392E+01	0.392E+01	0.000E+00	
0.154E+02	NOT CALC.					
	A52	0.330E+01	0.330E+01	0.330E+01	0.000E+00	
0.109E+02	NOT CALC.					
	A53	0.102E+01	0.102E+01	0.102E+01	0.000E+00	
0.103E+01	NOT CALC.					
	A54	-0.121E+01	-0.121E+01	-0.121E+01	0.000E+00	
0.147E+01	NOT CALC.					
	A55	0.126E+01	0.126E+01	0.126E+01	0.000E+00	
0.159E+01	NOT CALC.					
	A56	0.979E+01	0.979E+01	0.979E+01	0.000E+00	
0.958E+02	NOT CALC.					
	A57	0.100E+02	0.100E+02	0.100E+02	0.000E+00	
0.100E+03	NOT CALC.					
	A58	0.239E+01	0.239E+01	0.239E+01	0.000E+00	
0.571E+01	NOT CALC.					
	A59	-0.165E+01	-0.165E+01	-0.165E+01	0.000E+00	
0.274E+01	NOT CALC.					
	A60	-0.389E+02	-0.389E+02	-0.389E+02	0.000E+00	
0.151E+04	NOT CALC.					
	A61	-0.284E+01	-0.284E+01	-0.284E+01	0.000E+00	
0.806E+01	NOT CALC.					
	A62	-0.302E+00	-0.302E+00	-0.302E+00	0.000E+00	0.909E-
01	NOT CALC.					
	A63	0.450E+00	0.450E+00	0.450E+00	0.000E+00	
0.203E+00	NOT CALC.					
	A64	-0.204E+02	-0.204E+02	-0.204E+02	0.000E+00	
0.418E+03	NOT CALC.					
	A65	-0.246E+02	-0.246E+02	-0.246E+02	0.000E+00	
0.607E+03	NOT CALC.					

DEV. NAME	TYPE	MEAS. TIME	RESID.	WGT. RESID	
HISTOGRAM					
----	----	-----	-----	-----	-----
--					
	A1	Head	0.100E+01	0.926E+00	0.545E+00 1
	A2	Head	0.100E+01	0.243E+01	0.143E+01 2
	A3	Head	0.100E+01	0.439E+01	0.878E+00 1
	A4	Head	0.100E+01	0.201E+02	0.401E+01 3
	A5	Head	0.100E+01	0.137E+02	0.273E+01 3
	A6	Head	0.100E+01	0.455E+01	0.910E+00 1
	A7	Head	0.100E+01	0.212E+02	0.424E+01 3
	A8	Head	0.100E+01	0.539E+01	0.108E+01 2
	A9	Head	0.100E+01	0.255E+01	0.510E+00 1
	A10	Head	0.100E+01	-0.247E+01	-0.412E+00 -1
	A11	Head	0.100E+01	-0.966E+00	-0.193E+00 -1
	A12	Head	0.100E+01	0.127E+02	0.253E+01 3
	A13	Head	0.100E+01	0.105E+02	0.210E+01 3
	A14	Head	0.100E+01	0.755E+01	0.151E+01 2
	A15	Head	0.100E+01	0.107E+02	0.214E+01 3
	A16	Head	0.100E+01	0.140E+02	0.280E+01 3
	A17	Head	0.100E+01	0.152E+01	0.304E+00 1
	A18	Head	0.100E+01	-0.309E+02	-0.617E+01 -3
	A19	Head	0.100E+01	0.165E+02	0.330E+01 3
	A20	Head	0.100E+01	0.896E+02	0.179E+02 3
	A21	Head	0.100E+01	0.353E+02	0.706E+01 3
	A22	Head	0.100E+01	0.319E+02	0.638E+01 3
	A23	Head	0.100E+01	0.267E+02	0.534E+01 3
	A24	Head	0.100E+01	-0.218E+02	-0.435E+01 -3
	A25	Head	0.100E+01	-0.440E+02	-0.880E+01 -3
	A26	Head	0.100E+01	0.643E+01	0.129E+01 2
	A27	Head	0.100E+01	-0.733E+01	-0.147E+01 -2
	A28	Head	0.000E+00	0.297E+00	0.594E-01 1
	A29	Head	0.100E+01	0.118E+02	0.237E+01 3
	A30	Head	0.100E+01	-0.520E+01	-0.104E+01 -2
	A31	Head	0.100E+01	0.357E+01	0.715E+00 1
	A32	Head	0.100E+01	-0.254E+01	-0.508E+00 -1
	A33	Head	0.100E+01	0.441E+01	0.881E+00 1
	A34	Head	0.100E+01	0.336E+01	0.673E+00 1
	A35	Head	0.100E+01	-0.624E+00	-0.125E+00 -1
	A36	Head	0.100E+01	0.860E+01	0.172E+01 2
	A37	Head	0.100E+01	-0.969E+01	-0.194E+01 -2
	A38	Head	0.100E+01	0.455E+01	0.909E+00 1
	A39	Head	0.100E+01	0.216E+00	0.432E-01 1
	A40	Head	0.100E+01	0.473E+01	0.946E+00 1
	A41	Head	0.100E+01	0.192E+02	0.385E+01 3
	A42	Head	0.100E+01	0.185E+00	0.371E-01 1
	A43	Head	0.100E+01	0.139E+02	0.277E+01 3
	A44	Head	0.100E+01	-0.103E+02	-0.207E+01 -3
	A45	Head	0.100E+01	0.536E+01	0.107E+01 2
	A46	Head	0.100E+01	0.751E+01	0.150E+01 2
	A47	Head	0.100E+01	0.525E+01	0.105E+01 2
	A48	Head	0.100E+01	0.124E+02	0.247E+01 3

A49	Head	0.100E+01	-0.116E+01	-0.233E+00	-1
A50	Head	0.100E+01	0.112E+02	0.224E+01	3
A51	Head	0.100E+01	0.196E+02	0.392E+01	3
A52	Head	0.100E+01	0.165E+02	0.330E+01	3
A53	Head	0.100E+01	0.508E+01	0.102E+01	2
A54	Head	0.100E+01	-0.606E+01	-0.121E+01	-2
A55	Head	0.100E+01	0.630E+01	0.126E+01	2
A56	Head	0.100E+01	0.489E+02	0.979E+01	3
A57	Head	0.100E+01	0.500E+02	0.100E+02	3
A58	Head	0.100E+01	0.119E+02	0.239E+01	3
A59	Head	0.100E+01	-0.827E+01	-0.165E+01	-2
A60	Head	0.100E+01	-0.194E+03	-0.389E+02	-3
A61	Head	0.100E+01	-0.142E+02	-0.284E+01	-3
A62	Head	0.100E+01	-0.151E+01	-0.302E+00	-1
A63	Head	0.100E+01	0.225E+01	0.450E+00	1
A64	Head	0.100E+01	-0.102E+03	-0.204E+02	-3
A65	Head	0.100E+01	-0.123E+03	-0.246E+02	-3
A67	Head	0.100E+01	0.235E+01	0.470E+00	1
A68	Head	0.100E+01	-0.620E+02	-0.124E+02	-3
A69	Head	0.100E+01	-0.156E+01	-0.312E+00	-1
A70	Head	0.100E+01	0.717E+01	0.717E+01	3
A71	Head	0.100E+01	-0.600E+02	-0.120E+02	-3

PARAMETERS

NUM.	ZONE	TYPE	RESID.	WGT.	RESID
----	----	----	-----	----	-----
2		Txx	-0.104E+01	0.000E+00	
3		Txx	-0.102E+01	0.000E+00	
4		Txx	-0.415E+00	0.000E+00	
5		Txx	-0.687E+00	0.000E+00	
1		Leakage	0.289E+01	0.000E+00	
2		Leakage	0.503E+01	0.000E+00	

A POSTERIORI STATISTICS OF ESTIMATED
PARAMETERS

= =====

=====

TYPE	NUM.	ZONE	ESTIMATE	PRIOR STD.	POST. STD.	LOW.
CONF.	UPP.	CONF.	-----	-----	-----	-----
----	----	----	-----	-----	-----	-----
Txx		2	0.243E+01	0.200E+00	0.657E-01	
0.230E+01	0.256E+01					
Txx		3	0.444E+00	0.100E+00	0.488E-01	
0.346E+00	0.542E+00					

Txx	4	0.285E+01	0.343E+01	0.136E-01	
0.282E+01	0.288E+01				
Txx	5	-0.687E+00	0.100E+00	0.104E-01	-
0.708E+00	-0.666E+00				
Leakage	1	0.309E+01	0.300E+01	0.295E+01	-
0.281E+01	0.900E+01				
Leakage	2	0.523E+01	0.300E+01	0.292E+01	-
0.606E+00	0.111E+02				

COVARIANCE MATRIX

		Txx	Txx	Txx	
Txx	Leakage				
		2	3	4	
5	1				
Txx	2	0.237E+00	-0.166E+00	-0.296E-01	-
0.282E-01	0.253E+00				
Txx	3	-0.166E+00	0.131E+00	0.172E-01	
0.140E-01	-0.461E-01				
Txx	4	-0.296E-01	0.172E-01	0.102E-01	
0.368E-02	-0.389E+00				
Txx	5	-0.282E-01	0.140E-01	0.368E-02	
0.598E-02	-0.398E-01				
Leakage	1	0.253E+00	-0.461E-01	-0.389E+00	-
0.398E-01	0.480E+03				
Leakage	2	0.213E-01	-0.190E-01	-0.457E+00	-
0.105E-01	-0.800E+01				
	Leakage				
	2		0	0	
0	0				
Leakage	2	0.468E+03	0.000E+00	0.000E+00	
0.000E+00	0.000E+00				

CORRELATION MATRIX

		Txx	Txx	Txx	
Txx	Leakage				
		2	3	4	
5	1				
Txx	2	0.100E+01	-0.938E+00	-0.602E+00	-
0.749E+00	0.237E-01				
Txx	3	-0.938E+00	0.100E+01	0.469E+00	
0.498E+00	-0.581E-02				
Txx	4	-0.602E+00	0.469E+00	0.100E+01	
0.470E+00	-0.176E+00				

Txx	5	-0.749E+00	0.498E+00	0.470E+00	
0.100E+01		-0.235E-01			
Leakage	1	0.237E-01	-0.581E-02	-0.176E+00	-
0.235E-01		0.100E+01			
Leakage	2	0.202E-02	-0.243E-02	-0.209E+00	-
0.626E-02		-0.169E-01			
		Leakage			
		2	0	0	
0	0				
Leakage	2	0.100E+01	0.000E+00	0.000E+00	
0.000E+00		0.000E+00			

EIGENVECTORS

EIGENVALUE 1 : 484.1

CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
-0.4470E-03	0.6743E-04	0.2908E-03	0.6364E-04	-0.8923

Leakage

2

0.4515

EIGENVALUE 2 : 464.3

CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
0.2873E-03	-0.8163E-04	-0.1257E-02	-0.5885E-04	0.4515

Leakage

2

0.8923

EIGENVALUE 3 : 0.3639

CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
-0.8022	0.5829	0.9563E-01	0.8686E-01	0.5669E-03

Leakage

2

0.1652E-03

EIGENVALUE 4 : 0.1460E-01

CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
-.4306	-.7143	0.3715	0.4078	0.4996E-03

Leakage
2
0.3709E-03

EIGENVALUE 5 : 0.5038E-02
CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
-.1808	-.1545	-.9021	0.3601	-.6356E-03

Leakage
2
-.8818E-03

EIGENVALUE 6 : 0.2088E-03
CONTRIBUTIONS:

Txx	Txx	Txx	Txx	Leakage
2	3	4	5	1
-.3720	-.3551	-.1978	-.8345	-.7103E-04

Leakage
2
-.2106E-03

MODEL SELECTION CRITERIA =====

TAU PARAMETERS SUCH THAT LOG-LIKELIHOOD IS MINIMIZED.
FORMULATION 1

AKAIKE (1974)	=	0.709E+03
AKAIKE (1974) ET AL.	=	0.723E+03
HANNAN (1980)	=	0.715E+03
KASHAP (1982)	=	0.739E+03

TAU PARAMETERS CONSISTENT WITH WEIGHTING PARAMETERS.
FORMULATION 2

AKAIKE (1974)	=	0.709E+03
AKAIKE (1974) ET AL.	=	0.723E+03
HANNAN (1980)	=	0.715E+03
KASHAP (1982)	=	0.739E+03

TAU PARAMETERS SET TO 1

--- ----- --- -- -

AKAIKE (1974)	=	0.421E+04
AKAIKE (1974) ET AL.	=	0.422E+04
HANNAN (1980)	=	0.422E+04
KASHAP (1982)	=	0.424E+04

TOTAL CPUTIME : 0 MINUTES 2 SECONDS